



TUGAS AKHIR - TE 141599

***VIRTUAL TOUR* PADA SITUS TROWULAN MOJOKERTO
MENGGUNAKAN PANORAMA 360⁰**

Rengga Pladitama
NRP 2209100151

Dosen Pembimbing
Ahmad Zaini, ST., MSc.
Muhtadin, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**VIRTUAL TOUR ON TROWULAN MOJOKERTO SITE
USING PANORAMA 360⁰**

Rengga Pladitama
NRP 2209100151

Advisor
Ahmad Zaini, ST., MSc.
Muhtadin, ST., MT.

Department of Electrical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**VIRTUAL TOUR SITUS TROWULAN
MOJOKERTO MENGGUNAKAN
PANORAMA 360°**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ahmad Zaini, ST., M.Sc.
NIP. 197504192002121003

Muhtadin, ST., MT.
NIP. 198106092009121003

Surabaya
JULI 2015

ABSTRAK

Situs Trowulan merupakan bekas ibu kota kerajaan Majapahit yang mempunyai luas wilayah 11km x 9km dan didalamnya terdapat peninggalan sisa bangunan yang masih bisa dikunjungi. Berdasarkan catatan pengunjung situs Trowulan, setiap tahun jumlah pengunjung situs Trowulan mengalami penurunan, artinya daya tarik minat masyarakat untuk mempelajari peninggalan kerajaan Majapahit relatif menurun. Menurunnya minat masyarakat ini disebabkan media yang digunakan untuk mengenalkan peninggalan kerajaan Majapahit masih menggunakan media poster dan buku. Media buku dan poster hanya berupa tulisan dan gambar sehingga kurang menarik dan interaktif. Cara untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan membuat suatu media pengenalan yang tidak hanya dapat menampilkan tulisan dan gambar tetapi pengguna juga dapat berinteraksi dengan media tersebut. Oleh sebab itu perlu dilakukan pemvisualisasian situs Trowulan Mojokerto beserta bangunannya dalam bentuk *virtual tour* menggunakan panorama 360° yang berbasis website. *Virtual tour* ini dapat menampilkan keadaan lokasi peninggalan yang ada di situs Trowulan secara panorama 360° sehingga masyarakat seolah-olah berada di lingkungan situs. Implementasi dari visualisasi bangunan situs membuat *virtual tour* menjadi lebih menarik dan interaktif. Pemvisualisasian bangunan dilakukan dengan cara memindai permukaan bangunan sehingga diperoleh bentuk tiga dimensi bangunan. Jumlah *vertex* pada objek dimensi tiga mempengaruhi kinerja sistem saat ditampilkan pada *browser*, oleh karena itu semakin sedikit jumlah *vertex* dari objek tiga dimensi yang diimplementasikan, maka semakin ringan pula sistem bekerja. *Virtual tour* ini dapat digunakan sebagai media pengenalan kepada masyarakat umum dan diharapkan dapat menumbuhkan minat masyarakat untuk mengunjungi situs Trowulan.

Kata kunci: Situs Trowulan Mojokerto, *Virtual tour*, Panorama 360°, Objek dimensi tiga.

ABSTRACT

Trowulan Site is the former capital of the Majapahit kingdom which has an area of 11 km x 9 km and inside there are relics rest of the building can still be visited. Based on the record of site visitors Trowulan, every year the number of visitors to the site Trowulan decreases, this means that the attractiveness of public interest to study the relics of the Majapahit kingdom declined. This is caused by media used to introduce the kingdom of Majapahit still using the posters and books. Books and posters only in the form of text and images that are less attractive and interactive. The way to solve that problem is create a introduction media that not only can display text and images, but users also can interact with the media. Therefore it is necessary for the visualization of the Trowulan Mojokerto site and its structure in virtual tour using a panoramic 360° based website. The virtual tour can display the state of location of heritage Trowulan site on panoramic 360° so that the public as if it were in the neighborhood of the site. Implementation of visualization the building site made the virtual tour of to be more attractive and interactive. Visualization of the building is done by scanning the surface of the building in order to obtain a three-dimensional shape of the building. The number of vertices in a three-dimensional object affects system performance when displayed in a browser, the fewer the number of vertices of three-dimensional objects that are implemented, the more light the system works. This virtual tour can be used as a introduction media to the general public and it is expected to foster an interest to visit the Trowulan site.

Key Word: The Trowulan Mojokerto site, Virtual tour, Panoramic 360°, Three-dimensional objects.

Kata Pengantar

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "*Virtual Tour Situs Trowulan Mojokerto Menggunakan Penorama 360°*".

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat kelulusan yang harus dikerjakan oleh setiap mahasiswa Teknik Elektro FTI-ITS. Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan kepada:

1. Kedua Orang Tua, yang telah memberikan dorongan spiritual dan material sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI ITS Surabaya.
3. Bapak Ahmad Zaini, ST., M.Sc. dan Bapak Muhtadin, ST. MT., selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini yang telah memberikan bimbingan dan saran hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Para dosen Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika atas pengajaran, bimbingan serta nasehat yang telah diberikan selama ini, serta para dosen dan karyawan Teknik Elektro ITS pada umumnya.
5. Seluruh teman-teman angkatan e-49 serta teman-teman B201 crew Laboratorium Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika.
6. Semua pihak yang belum disebutkan yang telah membantu penulis demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2015
Penulis

Daftar Isi

Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan	v
Halaman Pengesahan	vi
Abstrak	viii
Abstract	x
Kata Pengantar	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batas Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Citra Panorama	5
2.2 Teknik <i>Stitching</i>	7
2.3 Fotogrametri Jarak Dekat	8
2.4 Rekonstruksi Objek Dimensi Tiga	10
2.5 <i>Virtual Tour</i>	11
2.6 Situs Trowulan	11
2.7 Easypano Studio	12

2.8	Autodesk 123D Catch	14
3.	DESAIN DAN IMPLEMENTASI	15
3.1	Skenario <i>Virtual Tour</i>	15
3.2	Desain Sistem <i>Virtual Tour</i>	16
3.3	<i>Virtual Tour</i>	16
3.3.1	Pengambilan Foto	18
3.3.2	Pembuatan Citra Panorama 360°	20
3.3.3	Penggabunan Citra Panorama	23
3.4	Objek Tiga Dimensi Bangunan Situs	24
3.4.1	pengambilan Citra	25
3.4.2	Pembentukan Objek Tiga Dimensi	26
3.4.3	Perbaikan Objek Tiga Dimensi	27
3.4.4	Pengurangan Jumlah Vertex	28
3.4.5	Pemberian Tekstur	29
3.5	<i>Virtual Tour</i> Situs Trowulan	30
3.5.1	Antar Muka Virtual Tour	30
3.5.2	Fitur Penunjang	32
3.6	Implementasi	34
3.6.1	Gapura Wringin Lawang	35
3.6.2	Candi Gentong	37
3.6.3	Candi Brahu	42
3.6.4	Gapura Bajangratu	45
3.6.5	Candi Tikus	48
4.	PENGUJIAN DAN ANALISIS	51
4.1	Pengujian Citra Panorama	51
4.2	Pengujian Objek Tiga Dimensi Bangunan Situs	54
4.3	Pengujian <i>Virtual Tour</i>	56
4.3.1	Pengujian dan Analisis Sistem pada Jaringan Lokal	56
4.3.2	Pengujian dan Analisis Survei	58
5.	PENUTUP	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
	DAFTAR PUSTAKA	70

Daftar Tabel

3.1	Jumlah <i>point cloud</i> setelah dilakukan pengurangan. . .	29
4.1	Spesifikasi kamera	52
4.2	Jumlah foto untuk pembentukan citra panorama . . .	52
4.3	Data pengujian implementasi citra panorama	53
4.4	Jumlah foto untuk pembuatan objek tiga dimensi bangunan situs	54
4.5	Data pengujian objek tiga dimensi	55
4.6	perbandingan jumlah <i>vertices</i> dan <i>faces</i> objek 3D asli dengan objek 3D yang diimplementasikan pada <i>virtual tour</i>	57
4.7	Data pengujian pada komputer klien	58
4.8	pertanyaan aspek pengetahuan situs Trowulan . . .	60
4.9	pertanyaan aspek kinerja sistem	61
4.10	pertanyaan aspek visualisasi bangunan	61
4.11	pertanyaan aspek kelengkapan informasi	62
4.12	pertanyaan aspek kemudahan penggunaan	62
4.13	pertanyaan aspek ketertarikan	63
4.14	Hasil survei pada lingkungan kampus	63
4.15	Hasil survei pada lingkungan kampus	66

Daftar Gambar

2.1	Jenis proyeksi yang digunakan pada citra panorama.	6
2.2	Perbedaan pengambilan citra objek fotogrametri.	9
2.3	Prinsip fotogrametri dari pengukuran dimensi tiga.	9
2.4	Virtual tour pada museum Smithsonian.	11
2.5	Ilustrasi tata kota kerajaan Majapahit berdasarkan sketsa Ir. Heny Maclain Pont tahun 1925.	12
2.6	Peta persebaran sisa peninggalan kerajaan Majapahit pada situs Trowulan.	13
3.1	Skenario dari <i>virtual tour</i> .	16
3.2	Skenario <i>tour guide virtual tour</i> situs Trowulan	17
3.3	Desain sistem <i>virtual tour</i> secara garis besar	17
3.4	Alur pembuatan <i>virtual tour</i>	18
3.5	Hasil yang diperoleh dari pengambilan citra.	19
3.6	Letak titik tanpa paralaks pada kamera	20
3.7	Teknik panorama tanpa bantuan alat	20
3.8	Penentuan titik persamaan antara dua citra	21
3.9	Tahap <i>warping</i> .	22
3.10	Citra panorama tanpa dilakukan penyesuaian warna	22
3.11	Citra panorama setelah dilakukan penyesuaian warna	22
3.12	citra panorama sebelum dilakukan tahap <i>crop</i>	23
3.13	citra panorama setelah dilakukan tahap <i>crop</i>	23
3.14	Rute dalam <i>virtual tour</i> Situs Trowulan.	24
3.15	Hotspot perpindahan antar panorama	25
3.16	Alur pembuatan objek tiga dimensi.	26
3.17	Pengambilan foto untuk pembuatan tiga dimensi bangunan situs	26

3.18	Citra yang diunggah ke server Autodesk 123D Catch.	27
3.19	Perbaikan Objek 3D.	28
3.20	Proses pemberian tekstur.	30
3.21	Elemen penyusun <i>virtual tour</i> situs Trowulan	31
3.22	Desain antar muka <i>virtual tour</i> situs Trowulan. . . .	32
3.23	Peta lokasi <i>virtual tour</i> Situs Trowulan.	33
3.24	salah satu fitur keterangan <i>virtual tour</i> Situs Trowulan.	33
3.25	Daftar panorama pada <i>virtual tour</i> Situs Trowulan. .	34
3.26	Kontrol panorama pada <i>virtual tour</i> Situs Trowulan.	34
3.27	Fitur bantuan pada <i>virtual tour</i> Situs Trowulan. . .	35
3.28	Denah situs Gapura Wringin Lawang.	35
3.29	Panorama Gapura Wringin Lawang dan pintu masuk situs Trowulan	36
3.30	Hasil visualisasi bangunan Gapura Wringin Lawang	37
3.31	Dua anak panah perpindahan pada panorama taman Gapura Wringin Lawang.	37
3.32	Denah situs Candi Gentong.	38
3.33	Tiga perpindahan pada panorama pintu masuk Can- di Gentong.	39
3.34	Perpindahan untuk memasuki lokasi Candi Gentong.	39
3.35	Perpindahan kembali ke pintu masuk candi Gentong.	40
3.36	Perpindahan menuju candi Gentong II	40
3.37	Perpindahan menuju candi Gentong I	41
3.38	Denah Candi Brahu.	42
3.39	Dua perpindahan pada panorama pintu masuk Candi Brahu ke lokasi lain.	43
3.40	Perpindahan masuk lokasi Candi Brahu	43
3.41	Hasil visualisasi bangunan Candi Brahu dalam ben- tuk tiga dimensi	44
3.42	Perpindahan pada panorama Candi Brahu	44
3.43	Denah situs Gapura Bajangratu.	45
3.44	Perpindahan dari Gapura Bajangratu ke lokasi lain.	46
3.45	Perpindahan untuk memasuki situs Gapura Bajangratu	46
3.46	Implementasi bentuk tiga dimensi bangunan Gapura Bajangratu	47
3.47	Perpindahan pada panorama Gapura Bajangratu . .	47
3.48	Denah situs Candi Tikus.	48
3.49	Perpindahan pada pintu masuk Candi Tikus. . . .	49

3.50	Perpindahan untuk memasuki lokasi Candi Tikus.	49
3.51	Perpindahan pada panorama Candi Tikus.	50
3.52	Implementasi objek tiga dimensi dari bangunan Candi Tikus.	50
4.1	Pengujian antar muka pada komputer klien	58
4.2	Antarmuka <i>virtual tour</i> situs Trowulan ketika semua fitur dimunculkan	59

BIOGRAFI PENULIS



Rengga Pladitama lahir di Blitar pada tanggal 4 Maret 1990. Sejak SD hingga SMA seluruh pendidikan ditempuh di kabupaten Blitar. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Islam Babadan Wlingi. Setelah lulus sekolah dasar pada tahun 2003, kemudian melanjutkan pendidikan menengah tingkat pertama di SMP Negeri 2 Wlingi. Pada tahun 2006, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMA Negeri 1 Garum. Pada tingkat inilah penulis mulai tertarik pada bidang robotika. Pertama kali mengikuti kompetisi robot *line tracer* yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS. Setelah lulus pendidikan menengah tingkat atas, penulis memilih untuk melanjutkan pendidikannya ke Jurusan Teknik Elektro ITS dan mengambil konsentrasi Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika. Hal ini tidak lepas dari ketertarikan pada bidang *hardware* dan *networking*. Ketertarikan ini pula yang menjadikan penulis bergabung dalam divisi Workshop teknik Elektro ITS. Selama bergabung dalam divisi ini, penulis menjadi bagian dari tim mekanik. Selama bergabung ini pula penulis telah mengikuti berbagai perlombaan robot yang diselenggarakan oleh berbagai universitas. Selama di bidang studi Teknik Komputer dan Telematika, penulis pernah menjadi admin dari server Kirby, yaitu server penyedia *sharing* film yang dapat diakses di seluruh jaringan ITS.

Bab 1.

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebesaran kekuasaan kerajaan Majapahit merupakan salah satu sejarah terbesar masyarakat Indonesia. Sisa kebesaran itu sedikit sekali yang terdokumentasi dengan baik. Situs Trowulan merupakan situs bekas Ibu Kota kerajaan Majapahit yang luasnya mencapai 99 Km²[1]. Data pengunjung situs Trowulan berdasarkan catatan pengunjung setiap tahun menunjukkan bahwa pada tahun 2008 berjumlah 61,405 orang, tahun 2009 berjumlah 117,588 orang, tahun 2010 berjumlah 73,800 orang dan tahun 2011 berjumlah 68,240 orang, artinya tingkat ketertarikan masyarakat untuk mempelajari sejarah Majapahit relatif menurun. Upaya yang sudah dilakukan dalam rangka menarik minat masyarakat terhadap situs Trowulan yaitu berupa pemasangan poster, penjualan buku, pembuatan website, serta membuat suatu gerakan untuk mengunjungi objek-objek yang ada di situs Trowulan.

Media yang digunakan untuk mengenalkan situs Trowulan seperti poster dan buku masih belum bisa menarik minat masyarakat karena hanya berisi tulisan dan gambar. Tulisan dan gambar tersebut tidak dapat menggambarkan keadaan situs secara keseluruhan sehingga informasi yang disampaikan kurang maksimal.

Permasalahan informasi yang disampaikan supaya bisa maksimal dapat diatasi dengan memvisualisasikan situs Trowulan dalam ben-

tuk *virtual tour* menggunakan panorama 360° yang berbasis *web-site*. *Virtual tour* ini dapat menunjukkan lokasi-lokasi yang ada di situs Trowulan secara panorama sehingga pengunjung *virtual tour* seolah-olah berada di lokasi situs yang sebenarnya.

Pemvisualisasian bangunan bersejarah dalam bentuk tiga dimensi di Indonesia belum ada yang melakukan. Visualisasi bangunan ini dapat diimplementasikan ke dalam *virtual tour*, sehingga *virtual tour* tersebut dapat lebih interaktif dan menarik. Pada penelitian sebelumnya, *virtual tour* digunakan untuk memvisualisasikan museum Tugu Pahlawan Surabaya. Dalam *virtual tour* tersebut terdapat visualisasi objek tiga dimensi berbentuk patung yang diimplementasikan pada salah satu visualisasi ruangan museum. Pembuatan objek tiga dimensi menggunakan 3D *scanner* dengan cara memindaian permukaan patung. Patung yang digunakan berukuran kecil dengan tinggi 20 centimeter.

1.2 Rumusan Masalah

Media yang digunakan untuk mengenalkan situs Trowulan seperti poster dan buku kurang menarik minat masyarakat untuk lebih mengenal sejarah Majapahit karena berisi tulisan dan gambar. Tulisan dan gambar tersebut tidak bisa menunjukkan keadaan situs secara keseluruhan sehingga informasi yang disampaikan kurang maksimal.

Belum adanya media pengenalan situs Trowulan yang menarik dan interaktif. Suatu media pengenalan yang didalamnya terdapat berbagai informasi tentang situs Trowulan.

Belum adanya pembuatan objek tiga dimensi dari bangunan situs bersejarah dan diimplementasikan ke dalam *virtual tour*. Pengimplementasian objek tiga dimensi menjadikan *virtual tour* lebih interaktif dan menarik.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memvisualisasikan situs Trowulan Mojokerto dalam bentuk *virtual tour* berbasis *website* beserta

visualisasi bangunan situs dalam bentuk tiga dimensi sehingga informasi yang disampaikan kepada masyarakat lebih menarik, interaktif dan dapat diakses di mana saja. Penelitian ini diharapkan dapat menumbuhkan minat masyarakat untuk lebih mengenal sejarah Majapahit.

Manfaat yang diperoleh adalah memudahkan masyarakat untuk memperoleh informasi tentang situs Trowulan. *Virtual tour* ini dapat digunakan sebagai media pengenalan tempat bersejarah kepada masyarakat umum.

1.4 Batas Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Lokasi penelitian yaitu lokasi yang terdapat bangunan candi atau gapura.
2. Data yang digunakan berformat jpg.
3. Keluaran berupa website *virtual tour*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab, masing-masing bab dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang permasalahan, penegasan dan alasan pemilihan judul, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bab II Dasar Teori

Bab ini menjelaskan tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan penelitian ini.

3. Bab III Perancangan Sistem dan Implementasi

Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait dengan sistem yang akan dibuat. Penggunaan blok diagram dimaksudkan agar sistem yang akan dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk diimplementasikan pada pembuatan perangkat lunak.

4. Bab IV Pengujian dan Analisis

Bab ini menjelaskan tentang pengujian yang dilakukan terhadap sistem dalam penelitian ini dan menganalisis sistem. Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan juga disebutkan dalam bab ini, sehingga apabila dilakukan pengembangan lebih jauh, spesifikasi perlengkapan bisa dipenuhi dengan mudah tanpa harus melakukan pengujian terhadap perangkat keras dan perangkat lunak lagi.

5. Bab V Penutup

Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

Bab 2.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Citra Panorama

Citra panorama merupakan gabungan dari beberapa citra dua dimensi menjadi sebuah citra lebar dan memiliki jangkauan pandang yang lebih luas dibandingkan dengan jangkauan pandang pada lensa kamera [2]. Citra panorama memiliki beberapa bentuk dan ukuran tergantung cara proyeksi yang digunakan. Dalam pembuatan citra panorama pemilihan jenis proyeksi sangat penting sebab proyeksi digunakan untuk mengubah perspektif dari citra panorama menjadi tampilan yang realistis sebuah pemandangan pada layar komputer.

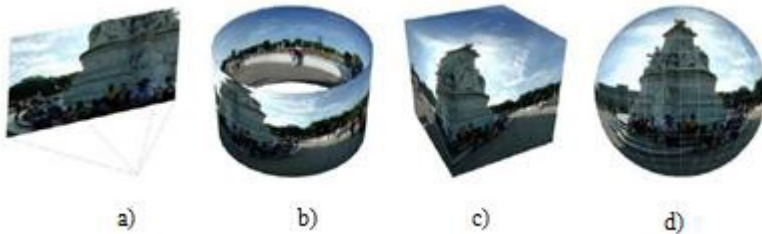
Jenis proyeksi yang digunakan pada citra panorama dibagi menjadi empat yaitu:

1. Planar atau *flat*

Jenis proyeksi panorama yang memproyeksikan citra panorama ke dalam bidang datar sehingga dapat dilihat tanpa perspektif tertentu. Proyeksi citra panorama planar ditunjukkan pada Gambar 2.1a. Proyeksi panorama planar biasanya digunakan dalam pembuatan peta.

2. Silinder (*cylindrical*)

Jenis proyeksi panorama yang memproyeksikan citra panorama ke bentuk silinder. Citra panorama silinder dapat dilihat secara 360° dalam bidang horizontal. Proyeksi citra panorama



Gambar 2.1: Jenis proyeksi yang digunakan pada citra panorama.
a) Planar. b) Silinder. c) Kubus. d) Bola. [3]

silinder ditunjukkan Gambar 2.1b.

3. Kubus (*cubic*)

Jenis proyeksi citra panorama ke dalam bentuk kubus dengan enam citra berada dipermukaannya. Proyeksi citra panorama kubus ditunjukkan gambar 2.1c. Proyeksi jenis kubus sangat baik untuk untuk citra panorama yang memiliki sudut pandang yang luas pada bidang vertikal.

4. Bola (*spherical*)

Jenis proyeksi citra panorama ke dalam bentuk bola. Citra panorama bola dapat dilihat secara 360° dalam bidang horizontal dan dapat dilihat secara 180° dalam bidang vertikal. Proyeksi citra panorama bola ditunjukkan Gambar 2.1d.

Dalam pembuatan citra panorama perlu diperhatikan hal-hal penyusun agar terbentuk citra panorama yang baik. Hal-hal penyusun antara lain:

1. Warna

Warna dalam pemandangan merupakan bagian penting. Agar terbentuk panorama yang baik, warna pemandangan bisa menggunakan warna pemandangan asli atau melakukan sedikit manipulasi dengan merubah kontras atau penajaman warna.

2. Waktu

Waktu atau masa pengambilan gambar harus diperhatikan, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Jangka pendek misal kita membuat foto panorama pada waktu-waktu yang bagus, semisal pada saat matahari terbit atau terbenam,

saat langit biru pagi, saat setelah hujan, dan sebagainya. Dalam jangka panjang, musim harus diperhatikan. Misal kita membuat foto panorama pepohonan, mungkin akan lebih menarik ketika membuat saat musim gugur.

3. Lokasi

Lokasi yang dijadikan citra panorama harus memiliki kesan atau keindahan, misal lokasi yang akan dibuat panorama memiliki nilai sejarah[4].

2.2 Teknik *Stitching*

Teknik *stitching* merupakan sebuah teknik fotografi yang bertujuan untuk membuat citra yang memiliki ukuran sangat besar dengan memanfaatkan citra-citra kecil yang memiliki area saling bertumpukkan (*overlapping*). Proses *stitching* diperlukan dalam pembuatan citra panorama sebab tidak ada lensa kamera yang mampu menangkap panorama yang begitu luas dengan sekali pengambilan gambar[2]. Penggabungan citra dalam proses *stitching* dilakukan dengan cara menentukan titik-titik (*control point*) yang sama antara citra satu dengan citra yang lain. Dalam menentukan *control point* harus memiliki tingkat kemiripan yang besar sebab apabila salah dalam menentukan *control point* maka citra panorama yang dihasilkan akan terlihat janggal atau kurang bagus[3].

Secara umum, proses *stitching* dapat dibagi menjadi dua komponen utama yaitu:

1. *Image registration*

Dalam tahapan ini terjadi proses penyelarasan dua citra ke dalam sistem koordinat sehingga menghasilkan sebuah citra yang saling *overlapping* dengan mengatur *correspondence* antara kedua gambar tersebut sebagai dasar penyelarasan daerah yang akan saling *overlapping*.

2. *Image merging*

Proses penyatuan gambar yang telah sesuai sehingga menjadi satu gambar utuh dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini dilakukan berdasarkan *correspondence point* yang di temukan pada proses *registration*[5].

Kendala yang dihadapi yang mungkin muncul ketika proses *stitching* antara lain:

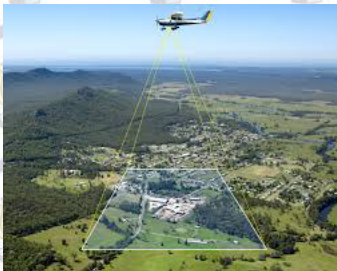
1. Parallax, kendala yang muncul akibat pergeseran posisi kamera ketika pengambilan gambar dilakukan.
2. *Object movement*, kendala yang muncul akibat pergerakan objek yang difoto, misal orang, pohon tertiup angin, atau objek bergerak lainnya.

2.3 Fotogrametri Jarak Dekat

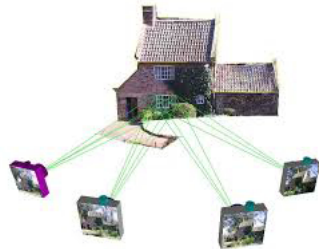
Fotogrametri merupakan seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan implementasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam [6]. Metode fotogrametri merupakan suatu metode pengukuran terhadap suatu objek yang dilakukan tanpa perlu bersentuhan langsung dengan objek yang diukur. Pengukuran terhadap objek dilakukan pada data yang diperoleh dengan perekaman citra. Istilah fotogrametri jarak dekat diperkenalkan sebagai suatu teknik fotogrametri dengan jarak objek dengan kamera kurang dari 100 meter [7].

Fotogrametri jarak dekat merupakan fotogrametri non-pemetaan. Perbedaan antara fotogrametri pada umumnya dengan fotogrametri jarak dekat adalah objek yang digunakan. Fotogrametri pada umumnya menggunakan hamparan daratan yang luas sebagai objeknya, sedangkan fotogrametri jarak dekat menggunakan bangunan sebagai objeknya. Perbedaan fotogrametri pada umumnya dengan fotogrametri jarak dekat ditunjukkan oleh gambar 2.2.

Prinsip yang mendasari fotogrametri jarak dekat adalah kondisi keseгарisan. Kondisi keseгарisan adalah kondisi yang menyatakan titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik objek di foto terletak pada satu garis lurus. Metode interseksi ruang digunakan untuk mencari koordinat titik di dunia nyata. Untuk memperoleh posisi objek pada dunia nyata diperlukan berkas sinar objek yang sama dari foto lain. Jika terdapat suatu titik pada objek yang diamati dari dua foto, maka setiap foto akan terdapat citra titik tersebut. Apabila telah diketahui posisi kamera dan arah sumbu



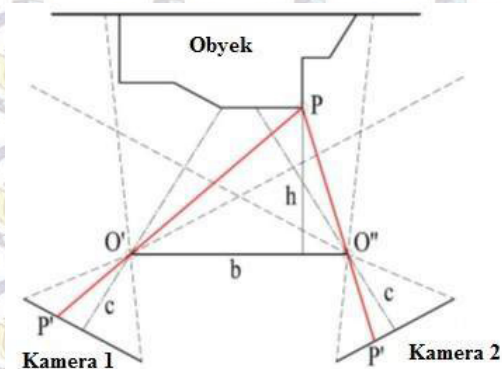
a)



b)

Gambar 2.2: Perbedaan pengambilan citra objek fotogrametri.

a) Fotogrametri pada umumnya. b) Fotogrametri jarak dekat. [8]



Gambar 2.3: Prinsip fotogrametri dari pengukuran dimensi tiga.

optiknya, maka posisi perpotongan sinar garis dari fotopertama dan kedua dapat menentukan posisi koordinat titik P tersebut [6].

Model dimensi tiga dibentuk dari *point cloud* yang dihasilkan oleh foto stereo yang diproses secara komputerisasi. Pada gambar 2.3 pengukuran titik dimensi tiga dengan objek "P" diperoleh dari sepasang foto yang diambil dari kamera dengan pusat proyeksi (O' , O'') yang menghasilkan proyeksi P' , sehingga dapat diketahui posisi arah sumbu kamera " c ", jarak antar kamera " b ", dan jarak kamera dengan objek " h " saat pengambilan gambar dilakukan [9].

2.4 Rekonstruksi Objek Dimensi Tiga

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, rekonstruksi merupakan penyusunan (penggambaran) kembali dari data yang ada dan disusun menjadi sebagaimana bentuk aslinya. Rekonstruksi tiga dimensi bertujuan untuk mempercepat pemerolehan bentuk tiga dimensi dari suatu objek atau benda.

Teknik rekonstruksi tiga dimensi terbagi menjadi dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Teknik rekonstruksi metode aktif dalam pemerolehan model tiga dimensi dilakukan dengan laser scanner atau cahaya terstruktur, sedangkan pada metode pasif rekonstruksi dari sekumpulan citra yang diambil menggunakan sebuah kamera atau beberapa kamera[10]. Pada penelitian ini rekonstruksi objek tiga dimensi menggunakan metode pasif dengan beberapa citra yang diambil dari sebuah kamera.

Metode pasif dipilih dengan alasan objek yang dijadikan tiga dimensi memiliki dimensi yang sangat besar dan berada pada lingkungan luar (outdoor) sehingga apabila menggunakan metode aktif (cahaya terstruktur), cahaya yang dihasilkan oleh proyektor tidak mampu menyamai sinar matahari. Selain faktor cahaya, dimensi objek menjadikan data yang diperoleh sangat banyak.

Rekonstruksi objek tiga dimensi dengan menggunakan metode pemindaian menghasilkan jumlah *point cloud* yang sangat besar sehingga berdampak pada jumlah poligon yang banyak pula. Oleh karena itu perlu dilakukan pengurangan jumlah poligon dengan tujuan hasil rekonstruksi dimensi tiga tidak memiliki ukuran file yang besar. Langkah dalam pengurangan jumlah poligon adalah [11]:

1. Pencarian sisi poligon baru
Setiap *point cloud* memiliki orientasi terhadap bidang normal. Poligon baru ditentukan dari sekumpulan *point cloud* dalam suatu daerah yang memiliki orientasi sama terhadap normal. Proses diulang pada sebuah bidang yang direkonstruksi.
2. Poligonasi
Pemberian poligon pada daerah yang telah ditentukan. Dalam tahap ini poligon juga menutup lubang pada daerah yang telah ditentukan.



Gambar 2.4: Virtual tour pada museum Smithsonian.

2.5 *Virtual Tour*

Virtual tour merupakan program simulasi yang menggabungkan teknologi fotografi dan teknologi informasi yang bertujuan untuk memberikan informasi ruang secara menyeluruh dan interaktif. Informasi ruang yang bisa diolah menjadi aplikasi ini meliputi *indoor* maupun *outdoor*[12].

Virtual tour mampu memvisualisasikan kondisi suatu lokasi sehingga pengguna dapat melihat keadaan sekitar dan merasakan seolah-olah berada di lokasi yang sebenarnya. Ada beberapa elemen multimedia yang digunakan pada *virtual tour* seperti suara, narasi, video, dan pemandu virtual. Karena *virtual tour* bisa menggambarkan keadaan suatu lokasi maka *virtual tour* ini bisa dijadikan sebagai media untuk mengenalkan suatu tempat[3]. Gambar 2.4 menunjukkan salah satu contoh aplikasi *virtual tour* yang telah menggunakan beberapa elemen multimedia.

2.6 Situs Trowulan

Trowulan merupakan kota yang dulu menjadi pusat Kerajaan Majapahit. Bukti tentang Trowulan sebagai ibu kota tercantum dalam kakawin Nagarakertagama oleh Prapanca dan tercatat dalam



Gambar 2.5: Ilustrasi tata kota kerajaan Majapahit berdasarkan sketsa Ir. Henry Maclain Pont tahun 1925.

buku *The History of Java* karya Thomas Stamford Raffles. Kota Raja Majapahit diperkirakan memanjang dari utara ke selatan yang dibatasi dengan sebuah kompleks bangunan suci agama Hindu dengan pusat berbentuk yoni[1]. Peta kota Majapahit diilustrasikan oleh Ir. Henry Maclain Pont pada tahun 1925 [13] ditunjukkan oleh Gambar 2.5

Apabila dibandingkan dengan keadaan sekarang, Ibu Kota Majapahit saat ini hanya berupa peninggalan saja. Sisa peninggalan yang tampak di permukaan tanah berupa candi, pintu gerbang, kolam, pondasi-pondasi bangunan, serta benda-benda purbakala lainnya berupa arca, yoni, prasasti dan sebagainya. Persebaran sisa peninggalan yang masih dapat dikunjungi ditunjukkan pada gambar 2.6

2.7 Easypano Studio

Easypano Studio merupakan suatu paket perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *virtual tour*. Paket tersebut terdiri dari Panoweaver dan Tourweaver.

Panoweaver merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk



Gambar 2.6: Peta persebaran sisa peninggalan kerajaan Majapahit pada situs Trowulan.

proses membuat citra panorama. Perangkat lunak ini dapat secara otomatis menggabungkan berbagai jenis foto menjadi suatu citra panorama dengan pandangan 360° penuh atau hanya sebagian saja. Perangkat lunak ini juga mendukung *stitching* manual dengan cara memasukkan titik-titik yang sesuai pada setiap citra yang digabungkan.

Tourweaver merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menciptakan *virtual tour* dengan pandangan secara 360°. Tourweaver dapat membuat *virtual tour* menggunakan panorama jenis bola dan tabung. Fitur yang terdapat dalam perangkat lunak ini antara lain objek tiga dimensi, *hotspot*, flash, video, Google Map, dan suara.

2.8 Autodesk 123D Catch

Autodesk 123D Catch merupakan suatu perangkat lunak yang dikeluarkan oleh Autodesk yang berfungsi membuat objek tiga dimensi yang berasal dari foto suatu objek yang diambil mengelilingi objek tersebut. Autodesk 123D Catch akan mengkonversi foto objek nyata menjadi objek tiga dimensi dengan bantuan *cloud computing* Autodesk. *Software* secara otomatis mengirim semua foto yang telah diambil ke server Autodesk untuk diproses dan diubah menjadi objek tiga dimensi.

Bab 3.

DESAIN DAN IMPLEMEN- TASI

Bab desain dan implementasi ini akan menjelaskan tahapan-tahapan yang dikerjakan dalam pembuatan *virtual tour* situs Trowulan. Tahapan yang dibahas mulai dari konsep sistem yang akan dibuat, alur dalam pengerjaan, sampai implementasi dari produk yang dibuat. Penelitian sebelumnya menjelaskan cara pembuatan *virtual tour* Museun Tugu Pahlawan Surabaya. Pada *virtual tour* tersebut diimplementasikan objek tiga dimensi yang dibuat menggunakan *3D scanner* dengan objeknya adalah patung yang berukuran kecil.

3.1 Skenario *Virtual Tour*

Virtual tour situs Trowulan ini dibuat seperti perjalanan wisata ke lokasi-lokasi situs Trowulan yang didalamnya terdapat penjelasan tentang objek situs atau bangunan yang ada. Skenario *virtual tour* ini menjelaskan pemilihan lokasi, penentuan rute perjalanan serta informasi apa saja yang disampaikan dari setiap lokasi. Skenario dari *virtual tour* situs Trowulan ditunjukkan gambar 3.1.

Skenario *virtual tour* diawali dengan studi lokasi. Studi lokasi ini bertujuan untuk mengetahui dimana letak situs dan mengetahui



Gambar 3.1: Skenario dari *virtual tour*.

informasi apa yang terkandung di dalam situs tersebut. Studi lokasi dilakukan dengan cara mengunjungi situs secara langsung agar diketahui dimana letaknya dan bagaimana kondisi dari situs tersebut.

Berdasarkan batasan masalah pada Tugas Ahir ini dipilihlah lima lokasi yang dibuat rute perjalanannya. Lokasi tersebut antara lain gapura Wringin Lawang, candi Gentong, candi Brahu, gapura Bajangratu dan candi Tikus.

Skenario *tour guide* ini berfungsi sebagai penentu rute perjalanan dalam *virtual tour* dan informasi yang akan disampaikan. Lokasi yang pertama kali dikunjungi adalah gapura Wringin Lawang. Berdasarkan sejarah, gapura ini merupakan pintuk masuk utama untuk memasuki kawasan ibu kota kerajaan Majapahit. Sedangkan lokasi terakhir adalah candi Tikus karena posisi berada paling jauh. Rute perjalanan dan informasi yang diberikan dapat dilihat pada gambar 3.2.

3.2 Desain Sistem *Virtual Tour*

Virtual tour situs Trowulan terdiri dari dua elemen utama yaitu *virtual tour* dan objek tiga dimensi bangunan situs. *Virtual tour* disini merupakan *virtual tour* dasar hanya terdiri dari citra panorama yang saling dihubungkan agar tercipta rute. Bagan desain sistem *virtual tour* secara garis besar ditunjukkan oleh gambar 3.3.

3.3 *Virtual Tour*

Virtual tour disini merupakan *virtual tour* dasar hanya terdiri dari citra panorama yang saling dihubungkan agar tercipta rute. Pembuatan *virtual tour* diawali dengan pengambilan foto, pengambilan citra panorama, dan terakhir penggabungan citra panorama.

Gapura Wringin Lawang

- lokasi bangunan
- fungsi bangunan
- objek 3D

Candi Gentong

- lokasi bangunan
- deskripsi bangunan

Gapura Bajangratu

- lokasi bangunan
- fungsi bangunan
- objek 3D

Candi Brahu

- lokasi bangunan
- deskripsi bangunan
- objek 3D

Candi Tikus

- lokasi bangunan
- deskripsi bangunan
- fungsi bangunan
- objek 3D

Gambar 3.2: Skenario *tour guide virtual tour* situs Trowulan

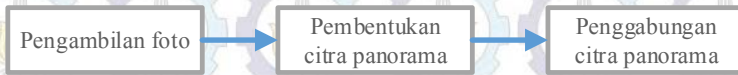
Virtual tour

Objek tiga dimensi

Virtual tour
Situs Trowulan

Gambar 3.3: Desain sistem *virtual tour* secara garis besar

Gambar 3.4 menjelaskan alur pembuatan *virtual tour*.



Gambar 3.4: Alur pembuatan *virtual tour*

3.3.1 Pengambilan Foto

Pengambilan foto menggunakan kamera DSLR agar diperoleh foto yang memiliki kualitas baik. Pengaturan kamera pada mode manual, hal ini bertujuan agar citra yang dihasilkan memiliki fokus yang sama baik untuk objek jarak dekat maupun jauh. Selain jarak fokus, mode manual digunakan agar citra memiliki perbedaan tingkat kecerahan yang tidak terlalu jauh. Kelemahan dari mode manual yaitu pada setiap pengambilan citra harus memperhatikan parameter tingkat kecerahan yang ditangkap oleh sensor kamera, apabila tingkat kecerahan terlalu tinggi maka dilakukan penyempitan diafragma kamera dan begitu juga sebaliknya.

Lensa yang digunakan dalam pengambilan citra menggunakan lensa dengan jarak fokus sebesar 18mm. Lensa ini memiliki *Field of View* (FOV) horizontal sebesar 67° , vertikal sebesar 48° dan diagonal sebesar 77° [14].

Jumlah citra minimal yang dibutuhkan untuk membuat panorama 360° adalah 32 foto. Jumlah dan posisi pengambilan citra antara lain:

1. 1 citra yang diambil pada posisi kamera menghadap keatas.
2. 10 citra yang diambil setiap 36° pada $+45^\circ$ *pitch*.
3. 10 citra yang diambil setiap 36° pada 0° *pitch*.
4. 10 citra yang diambil setiap 36° pada -45° *pitch*.
5. 1 citra yang diambil pada posisi kamera menghadap kebawah.

Setiap lokasi situs diambil dua sampai tiga spot. Spot-spot lokasi yang diambil antara lain:

1. Lokasi Gapura Wringin Lawang diambil 2 spot yaitu spot sebelah timur gapura dan spot sebelah barat gapura.
2. Lokasi Candi Gentong diambil 3 spot yaitu spot pintu masuk candi, Candi Gentong I dan Candi Gentong II.



Gambar 3.5: Hasil yang diperoleh dari pengambilan citra.

3. Lokasi Candi Brahu diambil 2 spot yaitu spot pintu masuk candi dan spot sebelah barat candi.
4. Lokasi Gapura Bajangratu diambil 2 spot yaitu spot pintu masuk gapura dan spot bagian selatan bangunan gapura.
5. Lokasi Candi Tikus diambil 2 spot yaitu spot pintu masuk candi dan spot anak tangga Candi Tikus.

Jadi pada Tugas Akhir ini total spot yang akan dilakukan proses pengambilan foto untuk dijadikan citra panorama 360° ada 11 spot.

Kesalahan yang sering muncul dalam pengambilan foto untuk pembuatan citra panorama adalah kesalahan paralaks. Kesalahan paralaks adalah pergeseran yang tampak dari suatu objek terhadap latar belakang yang disebabkan oleh perubahan posisi pengamat. Dalam konteks panorama 360, kesalahan paralaks menyebabkan perbedaan posisi garis dan jarak dari satu foto ke foto lainnya. Kesalahan paralaks yang terlalu besar akan menimbulkan masalah dalam proses penggabungan nantinya.

Pengambilan foto dengan menggunakan tubuh sebagai poros berputar atau menggunakan tripod konvensional dengan letak poros putar berada dibawah badan kamera dapat menimbulkan efek paralaks pada foto. Cara meminimalisir kesalahan paralaks adalah menempatkan poros perputaran pada titik tanpa paralaks. Titik tanpa paralaks ini biasanya berada sedikit dibelakang permukaan lensa dan di titik tengah diameter lensa. Gambar 3.6 menunjukkan posisi titik tanpa paralaks yang menjadi poros perputaran saat pengambilan foto.

Teknik panorama yang digunakan adalah teknik panorama tanpa bantuan alat. Teknik ini dilakukan dengan cara menggantungkan seutas tali pada titik tanpa paralaks pada badan lensa. Perputaran



Gambar 3.6: Letak titik tanpa paralaks pada kamera



Gambar 3.7: Teknik panorama tanpa bantuan alat

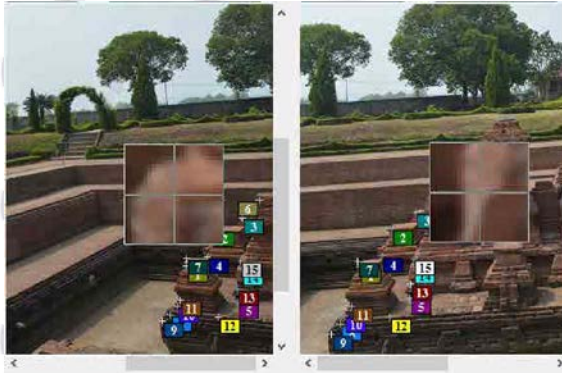
poros pengambilan foto bertumpu pada ujung tali yang telah diberi pemberat. Gambar 3.7 menunjukkan teknik panorama tanpa bantuan alat.

3.3.2 Pembuatan Citra Panorama 360°

Proses inti dari pembuatan citra panorama adalah proses *stitching*. Proses *stitching* merupakan proses dimana dilakukan penggabungan foto-foto yang saling berkesinambungan menjadi sebuah citra yang berukuran besar. Proses *stitching* dibagi menjadi empat tahapan yaitu tahap *detection and matching*, tahap *warping*, tahap *fade, blend or cut*, dan tahap *crop* (opsional).

Detection and Matching

Tahap *detection and matching* akan mencari titik persamaan (*control point*) dari dua foto yang saling berkesinambungan. Dalam menentukan titik persamaan tidak boleh sembarangan, titik dipilih dengan tingkat kesamaan yang tinggi. Apabila titik persamaan yang dipilih kurang tepat maka akan berakibat citra yang dihasil-



Gambar 3.8: Penentuan titik persamaan antara dua citra

kan kurang sesuai dengan yang diharapkan. Semakin banyak titik persamaan yang ditentukan maka semakin baik pula citra yang dihasilkan dari penggabungan dua citra

Gambar 3.8 menunjukkan tahap penentuan titik persamaan dari dua citra yang saling berkesinambungan. Penentuan titik persamaan harus memiliki tingkan persamaan yang tinggi.

Warping

Tahap *warping* ini diperlukan untuk memanipulasi citra yang mengalami pergeseran yang disebabkan oleh kesalahan dalam penentuan titik persamaan. Pergeseran ini dapat diperbaiki dengan mengubah titik persamaan pada citra. Pergeseran ini biasanya terjadi akibat adanya kesalahan paralaks. Gambar 3.9 menunjukkan terjadi pergeseran pada citra hasil penggabungan sehingga perlu dilakukan tahap *warping*.

Fade, Blend or Cut

Tahap ini merupakan tahap penyesuaian warna pada citra panorama yang telah digabungkan. Penyesuaian ini dilakukan karena terjadi perbedaan tingkat kecerahan warna pada titik penggabungan. Penyesuaian warna dilakukan dengan cara mengubah nilai saturasi warna citra. Gambar 3.10 menunjukkan citra panorama yang dihasilkan belum dilakukan tahap penyesuaian warna, sedangkan



a



b

Gambar 3.9: Tahap *warping*.
a) Sebelum dilakukan *warping*.
b) Setelah dilakukan *warping*.



Gambar 3.10: Citra panorama tanpa dilakukan penyesuaian warna



Gambar 3.11: Citra panorama setelah dilakukan penyesuaian warna

gambar 3.11 menunjukkan citra panorama telah dilakukan tahap penyesuaian warna.



Gambar 3.12: citra panorama sebelum dilakukan tahap *crop*



Gambar 3.13: citra panorama setelah dilakukan tahap *crop*

Crop

Tahap *crop* ini bersifat opsional, bergantung pada hasil citra yang diperoleh dari proses penggabungan. Tahap *crop* dibutuhkan apabila citra panorama dari hasil penggabungan memiliki tepi yang kurang rapi. Tahap ini jarang dilakukan pada citra panorama yang akan diproyeksikan secara *spherical* atau bola. Gambar 3.12 menunjukkan citra panorama hasil penggabungan tanpa dilakukan tahap *crop* dan gambar 3.13 citra panorama setelah dilakukan tahap *crop*.

3.3.3 Penggabungan Citra Panorama

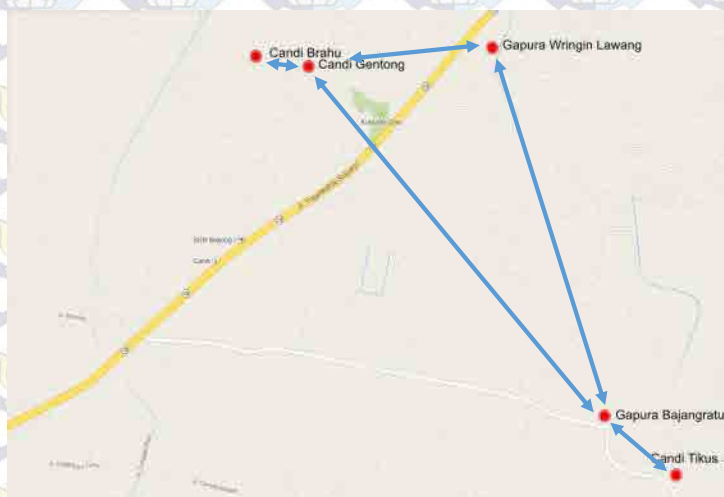
Langkah pertama dalam tahap penggabungan citra panorama adalah pembuatan rute perjalanan. Rute perjalanan ini berguna untuk memudahkan dalam penggabungan semua panorama yang telah dibuat. Rute perjalanan pada *virtual tour* Situs Trowulan ini dimulai dari lokasi Gapura Wringin Lawang, selanjutnya pengunjung *virtual tour* diberi kebebasan untuk memilih lokasi yang akan dikunjungi selanjutnya apakah menuju lokasi Candi Gentong atau Gapura Bajangratu. Gapura Wringin Lawang dipilih karena gapura ini merupakan pintu gerbang memasuki ibu kota kerajaan Majapahit. Rute perjalanan dalam *virtual tour* dapat dilihat pada gambar 3.14. Rute ini dibuat berdasarkan akses jalan untuk menuju lokasi-

lokasi objek yang ada pada Situs Trowulan.

Setelah rute ditentukan maka penggabungan panorama dapat dilakukan. Penggabungan panorama dilakukan dengan cara membuat *hotspot* perpindahan antar panorama. *Hotspot* untuk perpindahan antar panorama ini berbentuk anak panah. Arah dari anak panah ini menunjukkan posisi dari panorama lokasi lainnya. Penentuan *hotspot* ini dilakukan dengan melihat rute yang telah dibuat sebelumnya. *Hotspot* untuk melakukan perpindahan antar panorama dapat dilihat pada gambar 3.15.

3.4 Objek Tiga Dimensi Bangunan Situs

Pembuatan objek tiga dimensi dari foto dua dimensi terdapat beberapa proses antara lain penyelarasan gambar, segmentasi objek dan prediksi permukaan, perbaikan permukaan, pengurangan *point*



Gambar 3.14: Rute dalam *virtual tour* Situs Trowulan.

cloud, dan pemetaan tekstur. Autodesk telah menyediakan aplikasi gratis berbasis website untuk membantu dalam pembentukan objek tiga dimensi. Aplikasi tersebut adalah 123D Catch.

Dengan bantuan aplikasi 123D Catch yang disediakan oleh Autodesk, pembentukan objek tiga dimensi dari citra dua dimensi dapat diringkas. Jadi proses membuat objek tiga dimensi berubah menjadi Upload citra dua dimensi ke server Autodesk 123D Catch, Proses pembentukan objek tiga dimensi di server 123D Catch, perbaikan objek tiga dimensi, pengurangan *point cloud* dan *texture mapping* serta ekspor format objek tiga dimensi. Alur pembuatan objek tiga dimensi yang berasal dari citra dua dimensi ditunjukkan oleh gambar 3.16

3.4.1 pengambilan Citra

Pengambilan foto untuk pembuatan 3D bangunan situs juga dilakukan dengan saling menumpuk sisi foto. Presentase penumpukan foto untuk pembuatan 3D bangunan adalah 40%. Pengambilan foto dilakukan dengan mengelilingi bangunan. Gambar 3.17 menunjukkan cara pengambilan foto untuk pembuatan tiga dimensi bangunan situs. Bangunan candi dan gapura yang akan dibuat tiga dimensinya memiliki tinggi lebih dari 15 meter maka dalam setiap pengambil-



Gambar 3.15: Hotspot perpindahan antar panorama

an, setiap foto diusahakan mampu mencakup tinggi bangunan, hal tersebut bertujuan untuk menghemat jumlah foto yang dihasilkan dan mempermudah dalam proses pembentukan objek tiga dimensi pada proses selanjutnya.

3.4.2 Pembentukan Objek Tiga Dimensi

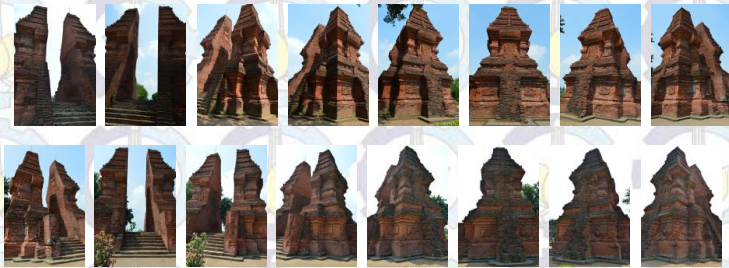
Server Autodesk 123D Catch memberikan batasan dalam melakukan pengunggahan citra yang akan dibuat objek tiga dimensi. Batasan tersebut antara lain jumlah citra yang diunggah tidak



Gambar 3.16: Alur pembuatan objek tiga dimensi.



Gambar 3.17: Pengambilan foto untuk pembuatan tiga dimensi bangunan situs

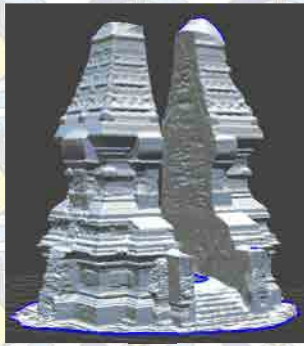


Gambar 3.18: Citra yang diunggah ke server Autodesk 123D Catch.

lebih dari 40 citra, selain itu setiap citra harus memiliki ukuran maksimal 5 MB. Jadi citra yang diperoleh dari hasil pengambilan mengelilingi bangunan candi dan gapura dilakukan kompresi sampai dengan ukuran maksimal 5 MB. Gambar 3.18 merupakan citra yang akan diunggah ke server Autodesk 123D Catch yang akan dilakukan proses pembentukan objek tiga dimensi.

3.4.3 Perbaikan Objek Tiga Dimensi

Objek tiga dimensi yang telah terbentuk masih memiliki bagian-bagian yang harus dihilangkan. Perbaikan menggunakan aplikasi gratis yang juga disediakan oleh Autodesk yaitu Meshmixer. Perbaikan pertama adalah menghilangkan bagian yang tidak perlu, misalnya menghilangkan latar belakang yang ikut terbentuk dalam proses *generate* tiga dimensi. Objek tiga dimensi yang telah dihilangkan bagian yang tidak perlu, selanjutnya diubah menjadi bentuk padat (solid). Pengubahan dilakukan dengan menutup lubang pada objek tiga dimensi. Pengubahan ini bertujuan agar objek tiga dimensi bisa dilakukan modifikasi bentuk, misalnya menambah tinggi atap bangunan candi agar terlihat seperti aslinya. Gambar 3.19a menunjukkan objek tiga dimensi yang diperoleh dari hasil proses yang dilakukan oleh server Autodesk 123D Catch yang perlu dilakukan perbaikan. Gambar 3.19b menunjukkan objek tiga dimensi setelah dilakukan perbaikan. Objek tiga dimensi telah siap dilakukan proses pengurangan jumlah *point cloud*.



a



b

Gambar 3.19: Perbaikan Objek 3D.

a) Objek 3D dari server Autodesk 123D Catch.

b) Objek 3D setelah perbaikan.

3.4.4 Pengurangan Jumlah Vertex

Objek tiga dimensi yang dibentuk dari citra dua dimensi menggunakan aplikasi Autodesk 123D Catch memiliki jumlah *vertex* dan poligon permukaan yang sangat banyak, selain itu file objek tiga dimensi berformat *.obj*. Objek tiga dimensi yang akan diimplementasikan dalam *virtual tour* harus berformat *.3ds*. Agar bisa diubah menjadi format *.3ds*, objek tiga dimensi harus memiliki jumlah poligon permukaan kurang dari 64000. Oleh karena itu perlu dilakukan pengurangan jumlah *vertex*. Pengurangan jumlah *vertex* juga bertujuan untuk memperingan kinerja sistem dalam menampilkan objek tiga dimensi pada saat *virtual tour* dijalankan. Pengurangan jumlah *vertex* pada objek tiga dimensi bangunan situs ditunjukkan pada tabel 3.1

Pengurangan jumlah *vertex* berdampak pada detail dari objek tiga dimensi bangunan situs. Untuk mengatasi detail bangunan perlu dilakukan pemberian tekstur pada objek tiga dimensi yang telah dilakukan pengurangan jumlah *vertex*-nya.

Tabel 3.1: Jumlah *point cloud* setelah dilakukan pengurangan.

No	Nama Bangunan	Objek 3D dari 123D Catch	Jumlah vertex	Objek 3D setelah pengurangan vertex	Jumlah vertex
1	G. Wringin Lawang		99840		2831
2	C. Brahu		32662		1394
3	C. Bajangratu		28163		3093
4	C. Tikus		36354		2789

3.4.5 Pemberian Tekstur

Pemberian tekstur pada objek tiga dimensi bangunan candi atau gapura bertujuan untuk mempertahankan detail bangunan walaupun objek tiga dimensi tersebut memiliki jumlah *vertex* yang sedikit. Pemberian tekstur pada objek tiga dimensi dilakukan berdasarkan proyeksi objek tiga dimensi pada tiap sisinya. Jenis proyeksi yang digunakan adalah proyeksi kotak, sehingga dihasilkan enam buah sisi. Proyeksi dari objek tiga dimensi ini dijadikan dasar untuk menentukan penempatan foto dari bangunan candi atau gapura pada tiap sisinya. Penyatuan antara proyeksi objek tiga dimensi dan foto sisi bangunan menghasilkan peta tekstur dari objek tiga dimensi.

Peta tekstur yang telah jadi selanjutnya diterapkan ke objek tiga dimensi untuk melihat apakah posisi tekstur telah tepat atau tidak. Apabila tekstur sudah sesuai maka dilakukan perubahan format ob-

jek tiga dimensi yang semula berformat .OBJ menjadi berformat .3DS. Perubahan format ini dilakukan karena format tersebut sesuai untuk diimplementasikan ke dalam *virtual tour*. Gambar 3.20 menunjukkan peroses pemberian tekstur pada objek tiga dimensi bangunan candi maupun gapura pada situs Trowulan. Objek tiga dimensi bangun situs yang telah jadi siap untuk diimplementasikan dalam *virtual tour*.

3.5 *Virtual Tour* Situs Trowulan

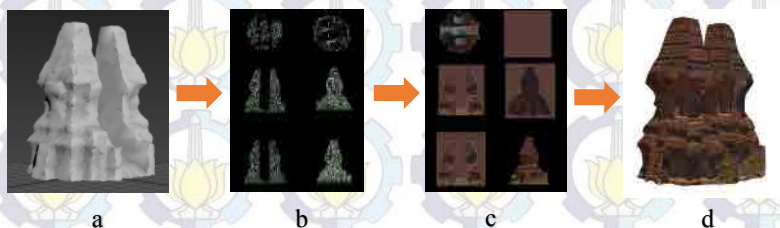
Virtual tour merupakan gabungan dari beberapa elemen. Gambar 3.21 menunjukan elemen penyusun dari *virtual tour* situs Trowulan.

3.5.1 Antar Muka *Virtual Tour*

Desain antar muka *virtual tour* berguna untuk menyusun penempatan elemen-elemen yang ditampilkan. Eleman yang tampil pada antar muka *virtual tour* antara lain:

1. *View* utama

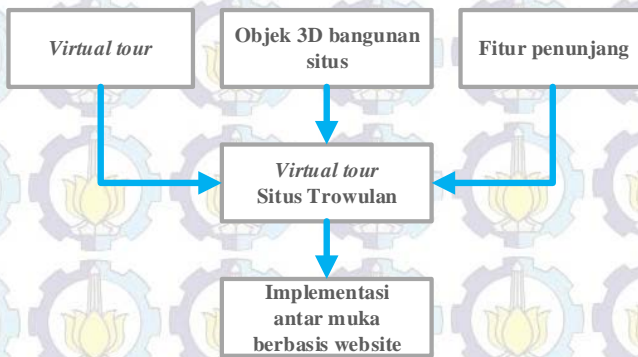
Bagian *view* utama berfungsi untuk menampilkan panorama lokasi dari setiap situs.



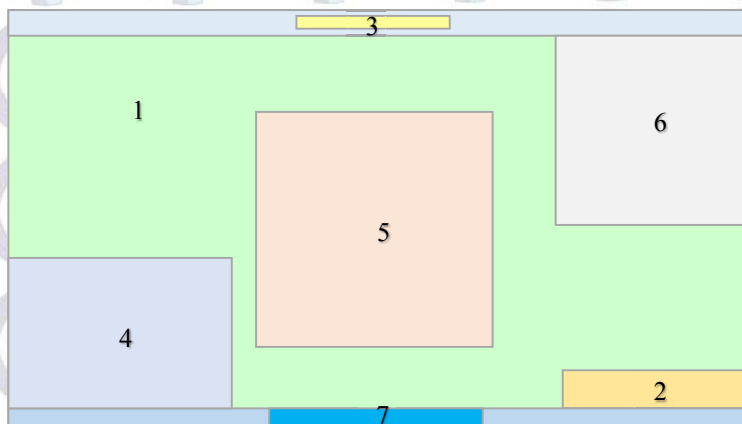
Gambar 3.20: Proses pemberian tekstur.

- a) Objek 3D yang akan diproyeksikan.
- b) Proyeksi 3D pada setiap sisi.
- c) Peta tekstur objek 3D.
- d) implementasi peta tekstur.

2. Daftar panorama
Bagian ini menyimpan daftar semua panorama pada *virtual tour* dan bisa digunakan sebagai *shortcut* untuk menuju lokasi atau menampilkan panorama yang diinginkan tanpa menggunakan *hotspot* anak panah perpindahan.
3. Judul
Judul ini memberikan informasi tentang nama lokasi dari panorama yang sedang ditampilkan.
4. Keterangan
Bagian keterangan ini menjelaskan tentang informasi yang terkandung pada lokasi candi. Keterangan ini juga memberikan informasi tentang adanya fitur tambahan yang ada pada beberapa panorama.
5. Area penampil tiga dimensi
Bagian area penampil 3D ini menampilkan bentuk tiga dimensi dari bangunan candi. Bagian ini akan muncul apabila bangunan candi diklik.
6. Peta
Peta ini berfungsi menunjukkan berada di lokasi mana panorama yang sedang ditampilkan. Peta ini mengacu pada peta sebenarnya sehingga informasi lokasi candi dapat diketahui.
7. Kontrol panorama. Bagian ini terdapat tombol-tombol untuk



Gambar 3.21: Elemen penyusun *virtual tour* situs Trowulan



Gambar 3.22: Desain antar muka *virtual tour* situs Trowulan.

1) *View* utama. 2) Daftar panorama. 3) Judul. 4) Keterangan. 5) Area penampil tiga dimensi. 6) Peta. 7) Kontrol panorama.

mengatur pergerakan dan ukuran panorama.

Secara keseluruhan, penempatan elemen antar muka yang ditampilkan ditunjukkan pada gambar 3.22

3.5.2 Fitur Penunjang

Dalam *virtual tour* situs Trowulan terdapat fitur-fitur yang digunakan oleh pengunjung *virtual tour* untuk mendapatkan informasi yang lebih banyak. Fitur-fitur tersebut antara lain:

1. Peta lokasi

Fitur peta lokasi ini digunakan sebagai penyedia informasi lokasi dari panorama yang sedang ditampilkan atau aktif sehingga memudahkan pengunjung *virtual tour* untuk mengetahui dimana posisinya berada. Peta lokasi ini dibuat dengan memanfaatkan Google Map sebagai dasar kemudian ditambahkan radar sebagai penanda lokasi. Radar ini akan menunjukkan posisi pengunjung dalam *virtual tour* dan posisi menghadap sesuai arah mata angin. Selain itu radar juga dapat digunakan sebagai *shortcut* untuk menuju lokasi yang diinginkan. Peta lokasi dalam *virtual tour* ditunjukkan gambar 3.23.



Gambar 3.23: Peta lokasi *virtual tour* Situs Trowulan.

2. Keterangan

Fitur keterangan ini memberikan informasi dari lokasi situs yang sedang ditampilkan. Informasi yang diberikan berupa detail lokasi candi, kapan mulai dilakukan pelestarian, deskripsi dari bangunan candi, dimensi dari bangunan candi, sampai fungsi dari bangunan candi. Salah satu tampilan fitur keterangan pada *virtual tour* Situs Trowulan ditunjukkan gambar 3.24.

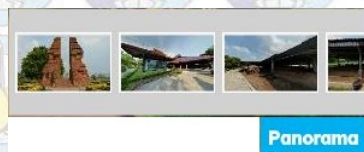
Gapura Wringin Lawang terletak di desa Jatipasar, kecamatan Thowulan, kabupaten Mojokerto dalam tulisan Raffles: History of Java I 1815, disebut dengan nama Gapura Jati Pasar, sementara berdasarkan cerita Kenbel dalam tulisannya tahun 1907, menyebutnya sebagai Gapura Wringin Lawang

Gapura Wringin Lawang berupa bangunan gapura agung dari bahan bata merah dengan luas dasar 13 x 11 meter dan tinggi 15,5 meter dengan arsitektur candi bentar atau “candi terbelah” yang sampai sekarang sering diaplikasikan dalam gaya arsitektur Bali. Fungsi utama bangunan ini diduga adalah sebagai pintu gerbang menuju kawasan utama di ibukota kerajaan Majapahit

Keterangan

Gambar 3.24: salah satu fitur keterangan *virtual tour* Situs Trowulan.

3. Daftar panorama Daftar panorama ini digunakan untuk mengetahui daftar panorama yang ada dalam *virtual tour* Situs Trowulan. Pengunjung juga dapat melakukan perpindahan melalui daftar panorama ini. Untuk memunculkan daftar panorama, pengunjung hanya perlu mengeklik tombol panorama pada antar muka *virtual tour*. Tampilan dari fitur daftar panorama ditunjukkan oleh gambar 3.25.



Gambar 3.25: Daftar panorama pada *virtual tour* Situs Trowulan.

4. Kontrol panorama Fitur kontrol panorama berupa tombol-tombol yang digunakan untuk mengatur pergerakan panorama. Tombol-tombol yang disediakan antara lain tombol pemutaran panorama ke kiri, kanan, atas, atau bawah secara manual; tombol pemutaran panorama otomatis; tombol perbesaran; tombol pengecilan; tombol *full screen*; dan tombol bantuan. Fitur kontrol panorama dapat dilihat pada gambar 3.26.



Gambar 3.26: Kontrol panorama pada *virtual tour* Situs Trowulan.

5. Bantuan

Fitur bantuan ini dibuat dengan tujuan untuk memudahkan pengunjung memahami cara menggunakan *virtual tour*. Fitur bantuan ini akan muncul apabila mengeklik tombol tanda tanya pada fitur kontrol panorama. Tampilan fitur bantuan dapat dilihat pada gambar 3.27.

3.6 Implementasi

Pada bagian implementasi ini menjelaskan hasil visualisasi situs Trowulan serta bangunan situs dalam bentuk tiga dimensi. Pengunjung disediakan panduan yang dapat ditampilkan apabila pengunjung kesulitan pada saat menggunakan *virtual tour*.



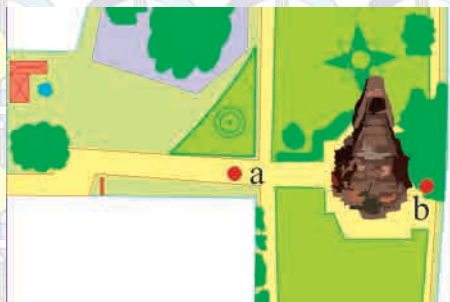
Gambar 3.27: Fitur bantuan pada *virtual tour* Situs Trowulan.

3.6.1 Gapura Wringin Lawang

Lokasi panorama Gapura Wringin Lawang dibagi menjadi dua tempat yaitu panorama Gapura Wringin Lawang dan taman Gapura Wringin Lawang. Letak panorama Gapura Wringin Lawang dan taman Gapura Wringin Lawang pada situs Gapura Wringin Lawang ditunjukkan gambar 3.28.

Panorama Gapura Wringin Lawang

Gapura Wringin Lawang merupakan pintu masuk Kerajaan Majapahit. Pada panorama Gapura Wringin Lawang hanya terdapat



Gambar 3.28: Denah situs Gapura Wringin Lawang.

- a) Gapura Wringin Lawang.
- b) Taman Gapura Wringin Lawang.



Gambar 3.29: Panorama Gapura Wringin Lawang dan pintu masuk situs Trowulan

satu titik perpindahan, yaitu berada diantara gapura. Panorama Gapura Wringin Lawang dapat dilihat pada gambar 3.29. Panorama gapura Wringin Lawang ini membutuhkan 39 citra foto untuk membuat citra panorama bola dengan sudut pandang 360°

Panorama Taman Gapura Wringin Lawang

Taman gapura Wringin Lawang menjadi lokasi pertama dari *virtual tour* situs Trowulan. Dibutuhkan 44 citra foto untuk membuat panorama Taman Gapura Wringin Lawang dengan sudut pandang 360°. Pada panorama taman Gapura Wringin Lawang ini terdapat fitur-fitur yang dapat digunakan pengunjung, antara lain:

1. Visualisasi bangunan

Bangunan gapura Wringin divisualisasikan dalam bentuk tiga dimensi sehingga dapat diputar untuk melihat bentuk bangunan secara keseluruhan. Hasil visualisasi bangunan gapura Wringin dapat dilihat pada gambar 3.30. Untuk membuat objek tiga dimensi bangunan gapura Wringin Lawang dibutuhkan 35 citra foto.

2. Dua anak panah panorama

Dalam panorama taman gapura Wringin Lawang terdapat dua anak panah yang dibuat untuk melakukan perpindahan dari panorama taman gapura Wringin lawang ke lokasi lain seperti ditunjukkan gambar 3.31.



Gambar 3.30: Hasil visualisasi bangunan Gapura Wringin Lawang



Gambar 3.31: Dua anak panah perpindahan pada panorama taman Gapura Wringin Lawang.

- a) Menuju candi Gentong.
- b) Menuju gapura Bajangratu.

3.6.2 Candi Gentong

Candi Gentong terdapat tiga panorama di lokasi yang berbeda yaitu panorama pintu masuk Candi Gentong, panorama Candi Gentong I dan panorama Candi Gentong II. Latak panorama pintu masuk Candi Gentong, Candi Gentong I dan Candi Gentong II



Gambar 3.32: Denah situs Candi Gentong.

- a) Pintu masuk Candi Gentong.
- b) Candi Gentong I.
- c) Candi Gentong II.

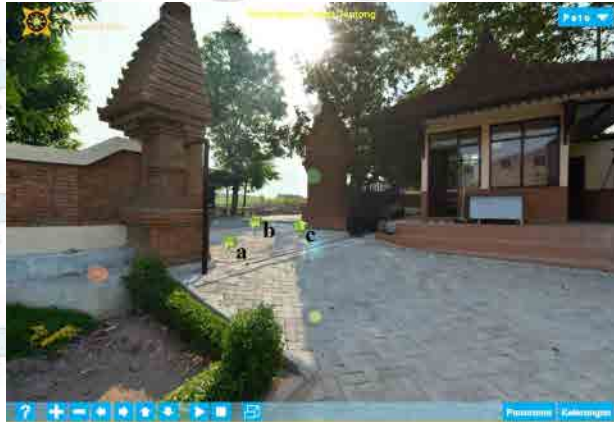
ditunjukkan oleh gambar 3.32.

Panorama Pintu Masuk Candi Gentong

Dalam panorama pintu masuk candi Gentong terdapat empat anak panah untuk melakukan perpindahan. Tiga anak panah untuk perpindahan dari candi Gentong menuju lokasi lain dan satu anak panah digunakan untuk masuk ke dalam area candi Gentong. Keempat anak panah perpindahan ditunjukkan pada gambar 3.33 dan 3.34. Pembuatan panorama pintu masuk candi Gentong dibutuhkan 38 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°.

Panorama candi Gentong I

Pada panorama candi Gentong I terdapat dua anak panah perpindahan lokasi, satu menuju candi Gentong II dan yang lain kembali menuju lokasi pintu masuk candi Gentong untuk melakukan



Gambar 3.33: Tiga perpindahan pada panorama pintu masuk Candi Gentong.

- a) Menuju gapura Wringin Lawang
- b) Menuju gapura Bajangratu
- c) Menuju candi Brahu

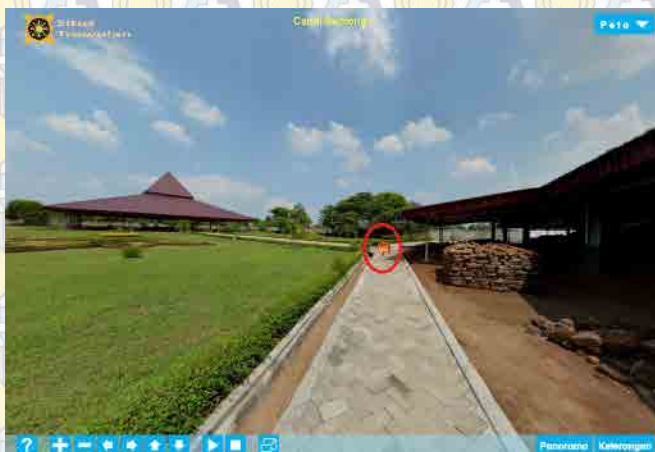


Gambar 3.34: Perpindahan untuk memasuki lokasi Candi Gentong.

perpindahan ke lokasi yang lain. Gambar 3.35 dan gambar 3.36 menunjukkan anak panah untuk melakukan perpindahan lokasi. Pembuatan panorama candi Gentong I ini dibutuhkan 41 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°.



Gambar 3.35: Perpindahan kembali ke pintu masuk candi Gentong.



Gambar 3.36: Perpindahan menuju candi Gentong II

Panorama Candi Gentong II

Dalam panorama candi Gentong II hanya terdapat satu anak panah untuk melakukan perpindahan yaitu kembali menuju panorama candi Gentong I yang ditunjukkan oleh gambar 3.37. Pembuatan panorama candi Gentong II dibutuhkan 41 citra foto untuk meng-

hasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°.



Gambar 3.37: Perpindahan menuju candi Gentong I

3.6.3 Candi Brahu

Lokasi situs Candi Brahu terdapat dua panorama yaitu panorama pintu masuk Candi Brahu dan panorama Candi Brahu. Letak kedua panorama ditunjukkan oleh gambar 3.38.

Panorama Pintu Masuk Candi Brahu

Pembuatan panorama pintu masuk candi Brahu membutuhkan 45 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Dalam panorama pintu masuk Candi Brahu terdapat tiga anak panah untuk melakukan perpindahan. Dua anak panah untuk melakukan perpindahan dari Candi Brahu ke Candi Gentong atau ke Gapura Bajangratu seperti ditunjukkan oleh gambar 3.39. Perpindahan untuk masuk lokasi Candi Brahu ditunjukkan oleh gambar 3.40.

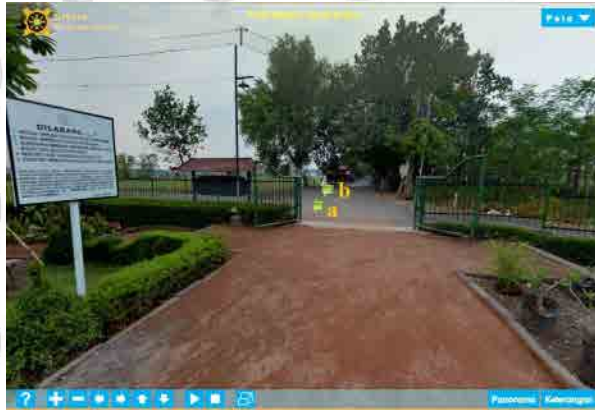
Panorama Candi Brahu

Panorama candi Brahu dalam pembuatannya membutuhkan 40 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Panorama Candi Brahu memiliki fitur tiga dimensi, dimana ke-



Gambar 3.38: Denah Candi Brahu.

- a) Pintu masuk Candi Brahu.
- b) Candi Brahu.



Gambar 3.39: Dua perpindahan pada panorama pintu masuk Candi Brahu ke lokasi lain.

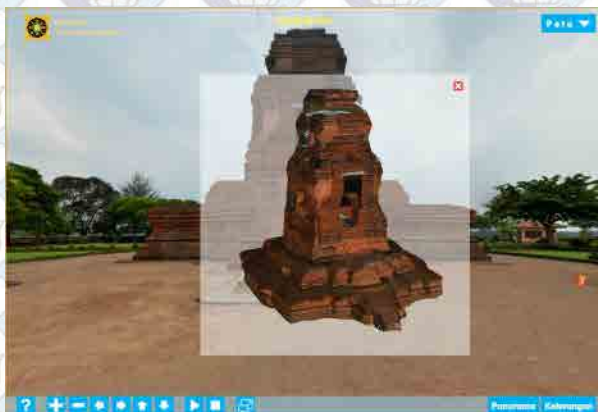
- a) Menuju Candi Gentong.
- b) Menuju Gapura Bajangratu.

tika bangunan candi diklik akan memunculkan bentuk tiga dimensi dari bangunan candi Brahu yang dapat diputar-putar sehingga dapat dilihat secara meneluruh bentuk dari candi. Pembuatan objek

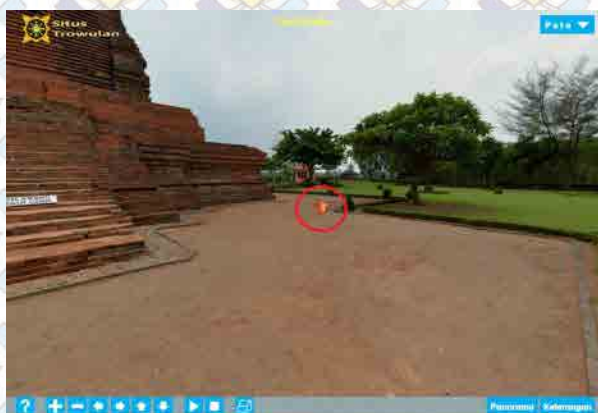


Gambar 3.40: Perpindahan masuk lokasi Candi Brahu

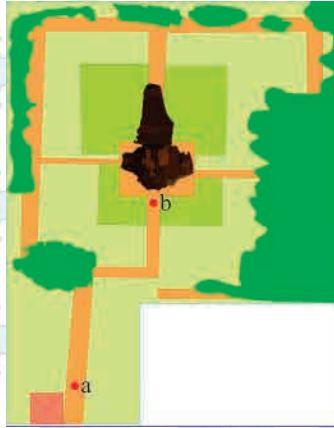
tiga dimensi dari candi Brahu membutuhkan 46 citra foto bangunan yang diambil mengelilingi bangunan. Implementasi dari bentuk tiga dimensi bangunan Candi Brahu ditunjukkan oleh gambar 3.41. Selain visualisasi bangunan candi, terdapat anak panah untuk melakukan perpindahan kembali menuju pintu masuk lokasi candi dan melakukan perpindahan ke lokasi lainnya. Perpindahan untuk menuju pintu masuk lokasi candi ditunjukkan oleh gambar 3.42.



Gambar 3.41: Hasil visualisasi bangunan Candi Brahu dalam bentuk tiga dimensi



Gambar 3.42: Perpindahan pada panorama Candi Brahu



Gambar 3.43: Denah situs Gapura Bajangratu.
a) Pintu masuk Gapura Bajangratu.
b) Gapura Bajangratu.

3.6.4 Gapura Bajangratu

Pada situs Gapura Bajangratu terdapat dua panorama yaitu panorama pintu masuk Gapura Bajangratu dan panorama Gapura Bajangratu. Letak kedua panorama tersebut ditunjukkan oleh gambar 3.43.

Panorama Pintu Masuk Gapura Bajangratu

Panorama pintu masuk gapura Bajangratu dalam pembuatannya membutuhkan 40 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Pada panorama pintu masuk Gapura Bajangratu terdapat empat buah anak panah untuk melakukan perpindahan. Tiga anak panah untuk melakukan perpindahan dari lokasi situs Gapura Bajangratu ke lokasi lain dan satu anak panah digunakan untuk melakukan perpindahan memasuki situs Gapura Bajangratu. Anak panah untuk melakukan perpindahan pada panorama pintu masuk Gapura Bajangratu ditunjukkan gambar 3.44 dan gambar 3.45.



Gambar 3.44: Perpindahan dari Gapura Bajangratu ke lokasi lain.

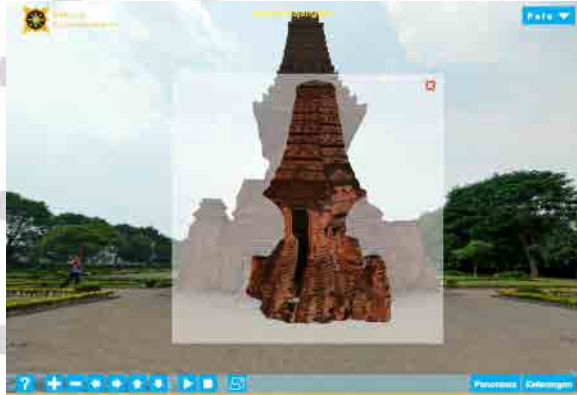
- a) Menuju Gapura Wringin Lawang.
- b) Menuju Candi Gentong.
- c) menuju Candi Tikus.

Panorama Gapura Bajangratu

Panorama gapura Bajangratu dalam pembuatannya membutuhkan 40 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Dalam panorama Gapura Bajangratu terdapat fitur bentuk tiga dimensi dari bangunan Gapura Bajangratu dan anak panah pindahan. Fitur tiga dimensi akan muncul ketika bangun-

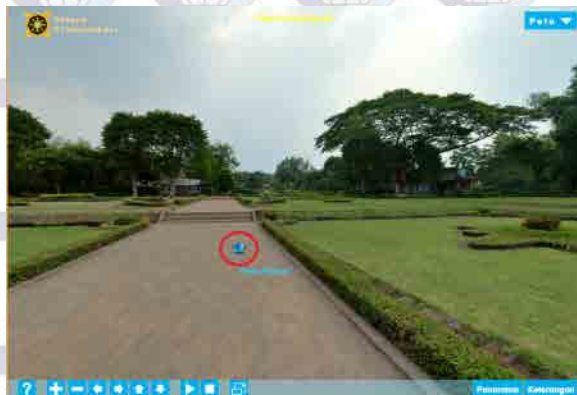


Gambar 3.45: Perpindahan untuk memasuki situs Gapura Bajangratu



Gambar 3.46: Implementasi bentuk tiga dimensi bangunan Gapura Bajangratu

an Gapura Bajangratu diklik. Fitur tiga dimensi ini dapat diputar sehingga bentuk keseluruhan dari Gapura Bajangratu dapat diketahui. Pembuatan objek tiga dimensi bangunan gapura Bajangratu dibutuhkan 46 citra foto bangunan. Implementasi bentuk 3D bangunan Gapura Bajangratu ditunjukkan gambar 3.46. Anak panah perpindahan digunakan untuk melakukan perpindahan dari panorama Gapura Bajangratu menuju panorama pintu masuk Gapura Bajangratu. Anak panah perpindahan ditunjukkan gambar 3.47.



Gambar 3.47: Perpindahan pada panorama Gapura Bajangratu

3.6.5 Candi Tikus

Lokasi Candi Tikus terdapat dua panorama yaitu panorama pintu masuk Candi Tikus dan panorama Candi Tikus. Letak dari kedua panorama tersebut ditunjukkan oleh gambar 3.48.

Panorama Pintu Masuk Candi Tikus

Panorama pintu masuk candi Tikus dalam pembuatannya membutuhkan 44 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Pada panorama pintu masuk Candi Tikus terdapat dua anak panah untuk melakukan perpindahan. Satu anak panah untuk melakukan perpindahan dari lokasi Candi Tikus ke lokasi Candi Bajangratu seperti yang ditunjukkan gambar 3.49 dan perpindahan untuk memasuki area Candi Tikus seperti pada gambar 3.50



Gambar 3.48: Denah situs Candi Tikus.

a) Pintu masuk Candi Tikus.

b) Candi Tikus.



Gambar 3.49: Perpindahan pada pintu masuk Candi Tikus.

Panorama Candi Tikus

Panorama candi Tikus dalam pembuatannya membutuhkan 44 citra foto untuk menghasilkan panorama dengan cakupan pandang 360°. Dalam panorama Candi Tikus terdapat anak panah untuk melakukan perpindahan dan bentuk tiga dimensi dari bangunan Candi Tikus. Anak panah perpindahan digunakan untuk melakukan perpindahan dari panorama Candi Tikus ke panorama pintu masuk



Gambar 3.50: Perpindahan untuk memasuki lokasi Candi Tikus.



Gambar 3.51: Perpindahan pada panorama Candi Tikus.

Candi Tikus. Anak perpindahan pada panorama Candi Tikus ditunjukkan gambar 3.51. Objek tiga dimensi dari bangunan Candi Tikus dapat dimunculkan ketika bangunan candi diklik. Objek tiga dimensi dapat diputar sehingga dapat diketahui bentuk keseluruhan dari bangunan Candi Tikus. Pembuatan objek tiga dimensi bangunan candi Tikus dibutuhkan 32 citra foto bangunan. Implementasi objek tiga dimensi dari bangunan Candi Tikus dapat dilihat pada gambar 3.52.



Gambar 3.52: Implementasi objek tiga dimensi dari bangunan Candi Tikus.

Bab 4.

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan tentang pengujian sistem yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan mulai dari elemen penusun utama *virtual tour* yaitu citra panorama dan objek tiga dimensi bangunan situs sampai pengujian terhadap *virtual tour* itu sendiri untuk mengetahui bagaimana sistem tersebut bekerja. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian citra panorama pada virtual tour.
2. Pengujian objek tiga dimensi bangunan situs.
3. Pengujian *virtual tour*.

4.1 Pengujian Citra Panorama

Citra panorama disusun dari kumpulan foto-foto yang digabungkan dengan menggunakan proses *stitching*. Foto diambil menggunakan kamera DSLR dengan spesifikasi ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Pengambilan foto seluruhnya berada di luar ruangan (*outdoor*) sehingga pemilihan ISO pada rentang ISO 100 dan ISO 200. Pemilihan ISO ini berdasarkan intensitas cahaya matahari, apabila cuaca cerah sekali menggunakan ISO100 dan apabila cuaca berawan menggunakan ISO200.

Tabel 4.1: Spesifikasi kamera

Komponen	Spesifikasi
Tipe kamera	Nikon D3200
<i>Effective pixels</i>	24.2 Megapixel
<i>Focal Length</i>	18 mm
ISO	ISO 100, ISO 200
<i>Flash mode</i>	No flash

Kamera Nikon D3200 dengan lensa 18mm memiliki HFOV sebesar 67° , VFOV sebesar 48° dan DFOV sebesar 77° . Sehingga jumlah foto untuk membuat citra panorama bola 360° diperlukan minimal 18 foto. Penggunaan teknik panorama tanpa bantuan alat terdapat kesulitan pada penentuan sudut pengambilan foto, sehingga foto yang diperoleh dari setiap lokasi memiliki jumlah yang berbeda-beda. Perbedaan jumlah ini berdasarkan tingkat kesulitan yang berbeda-beda pada setiap lokasi. Kesulitan tersebut antara lain cuaca seperti awan dan pepohonan. Tabel 4.2 menunjukkan jumlah foto yang diambil untuk dijadikan citra panorama dari setiap lokasi yang berbeda.

Pengujian dilakukan setelah dilakukan penggabungan citra panorama menjadi *virtual tour* dasar tanpa ada fitur tambahan. Pengujian menggunakan citra panorama dengan ukuran yang berbeda-beda antara lain citra panorama asli dari proses *stitching* tanpa di-

Tabel 4.2: Jumlah foto untuk pembentukan citra panorama

No	Nama Lokasi	Jumlah Foto
1	Gapura Wringin Lawang	39
2	Taman Gapura Wringin Lawang	44
3	Pintu masuk Candi Gentong	38
4	Candi Gentong I	41
5	Candi Gentong II	41
6	Pintu masuk Candi Brahu	45
7	Candi Brahu	40
8	Pintu masuk Gapura Bajangratu	40
9	Gapura Bajangratu	40
10	Pintu masuk Candi Tikus	44
11	Candi Tikus	44

Tabel 4.3: Data pengujian implementasi citra panorama

No	Citra Panorama	Waktu yang dibutuhkan		Penggunaan	
		<i>Starting</i>	Perpindahan	CPU	Memori
1	Asli tanpa kompresi kualitas citra. (32000x16000)	60 detik	34.4 detik	16.7% - 26.9%	1,112.1 MB
2	Kompresi kualitas citra 50% (16000x8000)	16.5 detik	10.3 detik	7.4% - 11.4%	434.1 MB
3	Kompresi kualitas citra 20% (6400x3200)	9.09 detik	6.39 detik	0.7% - 2.5%	64.9 MB

lakukan kompresi yang memiliki ukuran 32000x16000 piksel, citra panorama dengan kompresi 50% yang memiliki ukuran 16000x8000 piksel, dan citra panorama dengan kompresi 80% yang memiliki ukuran 6400x3200 piksel. Data pengujian citra panorama yang digunakan untuk membuat *virtual tour* dasar ditunjukkan tabel 4.3. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara ukuran citra panorama yang digunakan dengan penggunaan CPU dan memori saat aplikasi *virtual tour* dijalankan.

Dari data yang diperoleh dapat dianalisis bahwa citra panorama murni hasil proses *stitching* memiliki ukuran yang sangat besar, sehingga saat *virtual tour* dijalankan, membutuhkan memori yang sangat besar pula yaitu 1112.1MB. Selain berdampak pada penggunaan memori, waktu yang dibutuhkan saat melakukan perpindahan lokasi juga lama sebesar 34.4 detik. Penggunaan citra panorama dengan ukuran 3200x1600 membutuhkan memori sebesar 64.9 MB, sehingga saat melakukan perpindahan lokasi membutuhkan waktu 6.39 detik. Jadi dapat disimpulkan ukuran citra panorama yang digunakan berbanding lurus dengan kinerja CPU dan penggunaan memori. Semakin kecil ukuran citra panorama yang digunakan semakin ringan pula sistem bekerja.

4.2 Pengujian Objek Tiga Dimensi Bangunan Situs

Bangunan situs yang dijadikan dalam bentuk tiga dimensi sebanyak empat buah. Masing-masing bangunan situs memiliki ciri fisik yang berbeda. Bangunan situs tersebut antara lain Gapura Wringin Lawang, Candi Brahu, Gapura Bajangratu, dan Candi Tikus. Objek tiga dimensi dibuat dari foto bangunan situs yang diambil dengan cara mengelilingi bangunan situs tersebut. Jumlah foto yang diambil dan digunakan untuk membuat objek tiga dimensi bangunan situs ditunjukkan oleh tabel 4.4.

Agar objek tiga dimensi bangunan situs dapat diimplementasikan ke dalam aplikasi *virtual tour* maka perlu dilakukan proses pengukuran jumlah *vertex* dan pemberian tekstur pada objek tiga dimensi. Pengujian objek tiga dimensi bangunan situs dilakukan dengan mengimplementasikan objek tiga dimensi yang jumlah *vertex*-nya telah dikurangi secara bertahap pada *virtual tour* dasar.

Parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah jumlah *vertex* dan *faces*, prosentase kerja CPU serta memori yang digunakan ketika objek tiga dimensi ditampilkan pada *virtual tour*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara jumlah *vertex* dengan kinerja CPU dan penggunaan memori. Data yang diperoleh dari pengujian objek tigadimensi yang diimplementasikan pada *virtual tour* ditunjukkan tabel 4.5.

Derdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa pada objek tiga dimensi gapura Wringin Lawang, penggunaan *vertex* berjumlah 32002 membutuhkan memori sebesar 1064.6MB dan CPU bekerja 27.5% saat objek tiga dimensi ditampilkan pada *virtual tour*. Sedangkan penggunaan *vertex* berjumlah 4002 membutuhkan

Tabel 4.4: Jumlah foto untuk pembuatan objek tiga dimensi bangunan situs

No	Bangunan	Jumlah foto
1	Gapura Wringin Lawang	35
2	Candi Brahu	46
3	Gapura Bajangratu	46
4	Candi Tikus	32

Tabel 4.5: Data pengujian objek tiga dimensi

No	Objek 3D	Jumlah		Penggunaan	
		<i>Vertex</i>	<i>Faces</i>	CPU	Memori
1	Gapura Wringin Lawang	32002	64000	27.5%	1064.6 MB
		16002	32000	27.6%	568.2 MB
		8002	16000	31.9%	339.4 MB
		4002	8000	33.4%	265.8 MB
2	Candi Brahu	32002	64000	27.7%	1060.8 MB
		16002	32000	28.6%	591.1 MB
		8002	16000	27.8%	357.0 MB
		4002	8000	31.5%	234.6 MB
3	Gapura Bajang-ratu	32004	64000	27.0%	1042.5 MB
		16002	32000	26.8%	639.1 MB
		8002	16000	28.5%	361.5 MB
		4002	8000	31.2%	250.0 MB
4	Candi Tikus	32002	64000	29.6%	1072.0 MB
		16002	32000	31.2%	691.9 MB
		8003	16000	32.3%	403.9 MB
		4003	8000	32.3%	296.9 MB

memori sebesar 265.8MB dan CPU bekerja 33.4% saat *virtual tour* menampilkan objek tiga dimensi.

Pada objek tiga dimensi candi Brahu, penggunaan *vertex* berjumlah 32002 membutuhkan memori sebesar 1060.8MB dan CPU bekerja 27.7% saat objek tiga dimensi ditampilkan pada *virtual tour*. Sedangkan penggunaan *vertex* berjumlah 4002 membutuhkan memori sebesar 234.6MB dan CPU bekerja 31.5% pada saat *virtual tour* menampilkan objek tiga dimensi.

Pada objek tiga dimensi gapura Bajangratu, penggunaan *vertex* berjumlah 32004 membutuhkan memori sebesar 1042.5MB dan CPU bekerja 27.0% saat objek tiga dimensi ditampilkan pada *virtual tour*. Sedangkan objek tiga dimensi memiliki jumlah *vertex* 4002 membutuhkan memori sebesar 250.0MB dan CPU bekerja 31.2% saat *virtual tour* menampilkan objek tiga dimensi.

Pada objek tiga dimensi candi Tikus, objek tiga dimensi yang memiliki jumlah *vertex* 3002 pada saat *virtual tour* dijalankan dan objek tiga dimensi ditampilkan, penggunaan memori sebesar 1072.0MB dan CPU bekerja 29.6%. Sedangkan objek tiga dimensi dengan jum-

lah *vertex* 4003, penggunaan memori sebesar 296.9MB dan CPU bekerja 32.3%.

Jadi dapat disimpulkan bahwa jumlah *vertex* berpengaruh pada kinerja sistem. Jumlah *vertex* berbanding lurus dengan memori yang digunakan tetapi berbanding terbalik dengan prosentase CPU. Semakin sedikit jumlah *vertex* maka kinerja sistem semakin ringan.

Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan antara jumlah *vertex* dan *faces* dari objek tiga dimensi bangunan situs antara objek tiga dimensi asli sebelum dilakukan proses pengurangan jumlah *vertex* dengan objek tiga dimensi final yang diimplementasikan pada *virtual tour*.

4.3 Pengujian *Virtual Tour*









Pengujian *virtual tour* ini dilakukan dalam dua metode antara lain melakukan pengujian sistem pada dua komputer menggunakan jaringan lokal dan pengujian dalam bentuk survei. Pengujian pada jaringan lokal bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem klien saat aplikasi *virtual tour* dijalankan. Pengujian yang kedua secara *online* dalam bentuk survei untuk mengetahui tanggapan dari *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto ini.

4.3.1 Pengujian dan Analisis Sistem pada Jaringan Lokal

Pengujian pada jaringan lokal ini melibatkan dua buah komputer. Satu komputer dijadikan sebagai server dan satu komputer yang lain dijadikan klien. Cara kerja dari pengujian ini adalah semua berkas dari *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto dimasukkan ke dalam komputer server. Pada komputer server dipasang aplikasi XAMPP agar *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto dapat dibuka menggunakan *browser* pada komputer klien.

Untuk menjalankan *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto, klien mengirimkan alamat dengan memasukkan url <http://10.122.1.77:8080/trowulan/> pada *browser* yang digunakan. Gambar 4.1 merupakan antar muka dari *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto yang diakses atau dibuka pada komputer klien.

Tabel 4.6: perbandingan jumlah *vertices* dan *faces* objek 3D asli dengan objek 3D yang diimplementasikan pada *virtual tour*.

No	Nama bangunan	Sebelum modifikasi		Objek 3D final	
		Objek 3D	Jumlah	Objek 3D	Jumlah
1.	Gapura Wringin Lawang		<i>Vertex:</i> 99840 <i>Faces:</i> 199676		<i>Vertex:</i> 2831 <i>Faces:</i> 5658
2.	Candi Brahu		<i>Vertex:</i> 32662 <i>Faces:</i> 65320		<i>Vertex:</i> 1394 <i>Faces:</i> 2784
3.	Gapura Bajangratu		<i>Vertex:</i> 28163 <i>Faces:</i> 56322		<i>Vertex:</i> 3093 <i>Faces:</i> 6182
4.	Candi Tikus		<i>Vertex:</i> 36354 <i>Faces:</i> 72064		<i>Vertex:</i> 2789 <i>Faces:</i> 5572

Pengujian dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk membuka *virtual tour* pada *browser*, penggunaan memori dan kinerja dari CPU. Tabel 4.7 menunjukkan data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada komputer klien.

Hasil pengujian menunjukkan pada saat *virtual tour* pertama kali dijalankan membutuhkan waktu 11.56 detik dimulai dari mengeksekusi alamat sampai antar muka seperti ditunjukkan gambar 4.1. Penggunaan memori sebesar 184.9MB dan kinerja CPU 4.8%. Ke-



Gambar 4.1: Pengujian antar muka pada komputer klien

Tabel 4.7: Data pengujian pada komputer klien

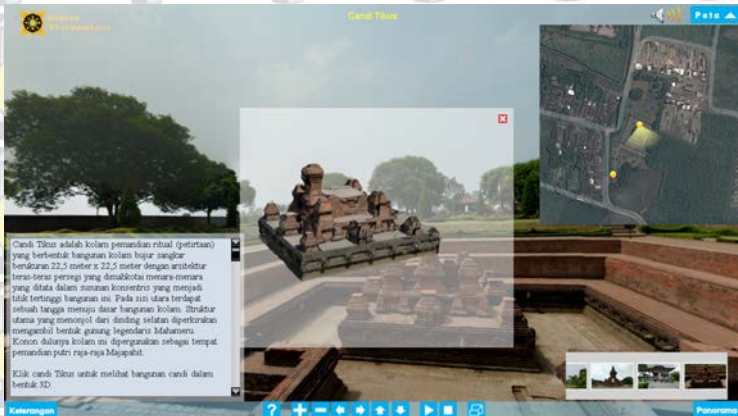
No	Aspek pengujian	Hasil
1	Waktu dibutuhkan <i>starting</i> awal	11.56 detik
2	Waktu dibutuhkan perpindahan lokasi	6.34 detik
3	Kinerja CPU	4.8%
4	Penggunaan memori	184.9 MB
Semua fitur dimunculkan		
1	Waktu perpindahan lokasi	8.23 detik
2	Kinerja CPU	36.6%
3	Penggunaan memori	420.6 MB

tika dilakukan perpindahan lokasi, waktu yang dibutuhkan untuk menampilkan panorama lokasi selanjutnya adalah 6.34 detik.

Ketika semua fitur yang ada pada *virtual tour* dimunculkan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 maka penggunaan memori meningkat menjadi 420.6MB dan CPU bekerja 36.6%. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perpindahan menjadi 8.23 detik.

4.3.2 Pengujian dan Analisis Survei

Pengujian survei ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan tentang *virtual tour* situs Trowulan Mojokerto. Pengujian ini dilakukan secara daring (*online*) melalui internet dengan menggunakan layanan yang disediakan oleh *Google* antara lain *Google Form* dan *Google*



Gambar 4.2: Antarmuka *virtual tour* situs Trowulan ketika semua fitur dimunculkan

Drive.

Google form merupakan aplikasi yang disediakan oleh Google yang dapat digunakan untuk membuat suatu survei atau formulir. Survei tersebut dapat disebarluaskan dan diisi secara umum. Data survei yang telah diisi oleh responden akan ditampilkan dan disimpan dalam *Google Drive*.

Survei dilakukan di dua tempat yaitu area kampus dengan target responden mahasiswa yang paham tentang dunia internet dan sistem komputer serta mengetahui tentang visualisasi. Tempat yang kedua adalah museum Trowulan, target adalah pengunjung museum yang awam terhadap visualisasi dan sistem komputer.

Survei ini meminta responden untuk mengisi biodata umum seperti nama, jenis kelamin, umur, status apakah pelajar atau masyarakat umum, serta alamat sebelum melakukan pengisian kuesioner. Pengisian biodata ini bertujuan untuk mengetahui data diri responden. Pertanyaan dalam kuesioner mengacu pada aspek pengetahuan situs Trowulan, kinerja sistem, visualisasi bangunan situs, kelengkapan informasi, dan kemudahan penggunaan *virtual tour* situs Trowulan.

Data Pengujian Survei

koesioner yang diberikan terdiri dari tujuh belas pertanyaan yang digolongkan ke dalam enam aspek. Berikut penjelasan aspek dan daftar pertanyaannya:

1. Aspek pengetahuan situs Trowulan

Pertanyaan bertujuan untuk mengetahui sumber informasi yang diperoleh responden tentang situs Trowulan. Pertanyaan yang diajukan antara lain ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8: pertanyaan aspek pengetahuan situs Trowulan

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Apakah anda mengetahui tentang situs trowulan?	a. Tahu b. Tidak tahu
2	Apakah anda pernah berkunjung ke situs Trowulan?	a. Pernah b. Belum pernah
3	Darimanakah anda memperoleh informasi tentang situs Trowulan?	a. Buku b. Poster c. Televisi d. Internet e. Media lain
4	Media apa saja yang Anda ketahui untuk mempromosikan suatu lokasi wisata sejarah?	a. Buku atau majalah b. Poster c. Spanduk d. Televisi e. Internet f. Media lain

2. Aspek kinerja sistem

Pertanyaan mengacu pada kinerja dari komputer klien saat mengakses *virtual tour* situs Trowulan yang diaplikasikan pada jaringan lokal. Pertanyaan yang diajukan dan pembobotan jawaban ditunjukkan tabel 4.9.

3. Aspek visualisasi bangunan

Pertanyaan digunakan untuk mengetahui pendapat responden tentang visualisasi bangunan situs Trowulan dalam bentuk objek tiga dimensi. Pertanyaan yang diajukan seputar visualisasi bangunan ditunjukkan tabel 4.10.

4. Aspek kelengkapan informasi

Pertanyaan yang diajukan berhubungan dengan informasi yang

Tabel 4.9: pertanyaan aspek kinerja sistem

No	Pertanyaan	Jawaban	Nilai
1	Berapa lama virtual tour terbuka pada browser yang anda gunakan?	a. < 10 detik	5
		b. 10 – 20 detik	4
		c. 20 – 30 detik	3
		d. 30 – 40 detik	2
		e. 40 < detik	1
2	Pada saat perpindahan lokasi berapa lama waktu yang dibutuhkan?	a. < 5 detik	5
		b. 5 – 10 detik	4
		c. 10 – 15 detik	3
		d. 15 – 20 detik	2
		e. 20 < detik	1
3	Pada saat panorama berputar atau saat menampilkan dan menggerakkan objek 3D, bagaimana pergerakan panorama atau objek 3D?	a. Lancar	3
		b. Tersendat-sendat	2
		c. Tidak bergerak	1

Tabel 4.10: pertanyaan aspek visualisasi bangunan

No	Pertanyaan	Jawaban	Nilai
1	Bagaimana hasil visualisasi gapura Wringin Lawang dalam bentuk 3D?	a. Sangat bagus	4
		b. Bagus	3
		c. Kurang bagus	2
		d. Tidak bagus	1
2	Bagaimana hasil visualisasi candi Brahu dalam bentuk 3D?	a. Sangat bagus	4
		b. Bagus	3
		c. Kurang bagus	2
		d. Tidak bagus	1
3	Bagaimana hasil visualisasi gapura Bajangratu dalam bentuk 3D?	a. Sangat bagus	4
		b. Bagus	3
		c. Kurang bagus	2
		d. Tidak bagus	1
4	Bagaimana hasil visualisasi candi Tikus dalam bentuk 3D?	a. Sangat bagus	4
		b. Bagus	3
		c. Kurang bagus	2
		d. Tidak bagus	1

diperoleh responden setelah menggunakan *virtual tour* situs Trowulan. Pertanyaan yang diberikan ditunjukkan tabel 4.11.

- Aspek kemudahan penggunaan Pertanyaan yang diajukan untuk mengetahui pendapat responden setelah menggunakan *vir-*

Tabel 4.11: pertanyaan aspek kelengkapan informasi

No	Pertanyaan	Jawaban	Nilai
1	Bagaimanakah kesesuaian informasi lokasi yang ditampilkan pada fitur keterangan?	a. Sangat sesuai	4
		b. Sesuai	3
		c. Kurang sesuai	2
		d. Melenceng	1
2	Apakah informasi pada objek tiga dimensi bangunan membantu menjelaskan bentuk bangunan?	a. Sangat membantu	4
		b. Membantu	3
		c. Kurang membantu	2
		d. Tidak membantu	1
3	Apakah fitur peta pada virtual tour membantu dalam menemukan lokasi situs?	a. Sangat membantu	4
		b. Membantu	3
		c. Kurang membantu	2
		d. Tidak membantu	1

tual tour situs Trowulan tentang cara penggunaan aplikasi. Pertanyaan yang diajukan ditunjukkan tabel 4.12.

Tabel 4.12: pertanyaan aspek kemudahan penggunaan

No	Pertanyaan	Jawaban	Nilai
1	Bagaimana pendapat Anda tentang ” <i>Virtual tour</i> situs Trowulan Mojokerto” ?	a. Mudah digunakan dan dipahami	4
		b. Mudah digunakan tetapi sulit dipahami	3
		c. Sulit digunakan tetapi mudah dipahami	2
		d. Sulit digunakan dan dipahami	1
2	Secara keseluruhan bagaimana penilaian Anda terhadap ” <i>Virtual tour</i> situs Trowulan Mojokerto”?	a. Sangat bagus	4
		b. Bagus	3
		c. Kurang bagus	2
		d. Tidak bagus	1

- Aspek ketertarikan Pertanyaan yang diberikan untuk mengetahui ketertarikan responden untuk mengunjungi lokasi-lokasi bangunan peninggalan yang ada situs Trowulan setelah menggunakan *textitvirtual tour* situs Trowulan. Pertanyaan ditunjukkan tabel 4.13.

Tabel 4.13: pertanyaan aspek ketertarikan

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Setelah menggunakan virtual tour situs Trowulan, apakah anda berkeinginan untuk mengunjungi situs Trowulan yang sebenarnya?	a. Ya
		b. Tidak

Hasil survei

Survei dilakukan pada dua tempat berbeda yaitu dilingkungan kampus dan di Museun Trowulan Mojokerto. Total responden diperoleh 35 responden

Survei di lingkungan kampus

Survei ini dilakukan di tempat jurusan Teknik Elektro dengan kriteria masih mahasiswa yang mengetahui tentang visualisasi, responden yang mengikuti survei semua merupakan mahasiswa S1. Setelah mencoba menggunakan *virtual tour* situs Trowulan, setiap responden mengisi kuesioner dalam bentuk *online*. Hasil survei secara rinci dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14: Hasil survei pada lingkungan kampus

No	Pertanyaan	Jawaban	Jumlah responden	Prosentase (%)
Pengetahuan tentang situs Trowulan				
1	Pertanyaan 1	a. Tahu	22	100
		b. Tidak tahu	0	0
2	Pertanyaan 2	a. Pernah	5	23
		b. Belum pernah	17	77
3	Pertanyaan 3	a. Buku	5	13
		b. Poster	1	3
		c. Televisi	15	38
		d. Internet	14	36
		e. Media lain	4	10
4	Pertanyaan 4	a. Buku atau majalah	18	29
		b. Poster	9	14
		c. Spanduk	1	2
		d. Televisi	19	30
		e. Internet	15	24
		f. Media lain	1	2

No	Pertanyaan	Jawaban	Jumlah responden	Prosentase (%)
Kinerja sistem				
1	Pertanyaan 1	a. < 10 detik	5	23
		b. 10 – 20 detik	9	41
		c. 20 – 30 detik	8	36
		d. 30 – 40 detik	0	0
		e. 40 < detik	0	0
2	Pertanyaan 2	a. < 5 detik	6	27
		b. 5 – 10 detik	9	41
		c. 10 – 15 detik	7	32
		d. 15 – 20 detik	0	0
		e. 20 < detik	0	0
3	Pertanyaan 3	a. Lancar	16	73
		b. Tersendat-sendat	6	27
		c. Tidak bergerak	0	0
Visualisasi bangunan				
1	Pertanyaan 1	a. Sangat bagus	3	14
		b. Bagus	15	68
		c. Kurang bagus	3	14
		d. Tidak bagus	1	5
2	Pertanyaan 2	a. Sangat bagus	2	9
		b. Bagus	18	82
		c. Kurang bagus	2	9
		d. Tidak bagus	0	0
3	Pertanyaan 3	a. Sangat bagus	10	45
		b. Bagus	12	55
		c. Kurang bagus	0	0
		d. Tidak bagus	0	0
4	Pertanyaan 4	a. Sangat bagus	3	14
		b. Bagus	17	77
		c. Kurang bagus	2	9
		d. Tidak bagus	0	0
Kelengkapan informasi				
1	Pertanyaan 1	a. Sangat sesuai	2	9
		b. Sesuai	19	86
		c. Kurang sesuai	1	5
		d. Melenceng	0	0
2	Pertanyaan 2	a. Sangat membantu	4	18
		b. Membantu	15	68
		c. Kurang membantu	3	14
		d. Tidak membantu	0	0

No	Pertanyaan	Jawaban	Jumlah responden	Prosentase (%)
Kelengkapan informasi				
3	Pertanyaan 3	a. Sangat membantu	5	23
		b. Membantu	12	55
		c. Kurang membantu	5	23
		d. Tidak membantu	0	0
Kemudahan penggunaan				
1	Pertanyaan 1	a. Mudah digunakan dan dipahami	5	23
		b. Mudah digunakan tetapi sulit dipahami	10	45
		c. Sulit digunakan tetapi mudah dipahami	6	27
		d. Sulit digunakan dan dipahami	1	5
2	Pertanyaan 2	a. Sangat bagus	2	9
		b. Bagus	18	82
		c. Kurang bagus	2	9
		d. Tidak bagus	0	0
Ketertarikan pengguna				
1	Pertanyaan 1	a. Ya	18	82
		b. Tidak	4	18

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 4.14 dapat diketahui bahwa televisi menjadi media yang paling banyak diketahui sebagai sumber informasi dan media untuk mengenalkan tempat bersejarah selanjutnya internet menjadi media kedua yang paling banyak digunakan karena dapat diakses dari mana saja.

Kinerja sistem saat aplikasi *virtual tour* situs Trowulan dijalankan pada *browser*, diperoleh kualitas sistem bekerja komputer responden sebesar 82%. Hal ini menunjukkan sistem dapat berjalan dengan lancar pada *browser* responden.

Visualisasi bangunan situs dalam bentuk tiga dimensi, kualitas visualisasi bangunan gapura Wringin Lawang sebesar 73%, menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat bagus. Kualitas visualisasi bangunan candi Brahu sebesar 75%, menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan juga terlihat bagus. Kualitas visualisasi bangunan gapura Bajangratu sebesar 86%, nilai ini menunjukan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat sangat bagus. Kualitas vi-

sualisasi bangunan candi Tikus sebesar 76% nilai ini menunjukan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat sangat bagus.

Kualitas informasi yang disajikan dalam *virtual tour* situs Trowulan sebesar 76%. Menurut responden *virtual tour* ini sangat informatif.

Dari segi kemudahan responden mengatakan *virtual tour* situs Trowulan mudah digunakan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tingkat kemudahan sebesar 73%.

Survei di situs Trowulan

Survei ini dilakukan di area Museum Trowulan dengan kriteria responden merupakan masyarakat yang awam dengan visualisasi. Total responden yang berpartisipasi berjumlah 13 orang dengan rincian 1 responden merupakan pelajar dan 12 responden sisanya adalah masyarakat umum. Setelah mencoba menggunakan *virtual tour* situs Trowulan, setiap responden mengisi kuesioner. Hasil survei secara rinci dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15: Hasil survei pada lingkungan kampus

No	Pertanyaan	Jawaban	Jumlah responden	Prosentase (%)
Pengetahuan tentang situs Trowulan				
1	Pertanyaan 3	a. Buku	5	16
		b. Poster	1	3
		c. Televisi	11	35
		d. Internet	6	19
		e. Media lain	8	26
2	Pertanyaan 4	a. Buku atau majalah	4	11
		b. Poster	3	8
		c. Spanduk	1	3
		d. Televisi	12	32
		e. Internet	8	22
		f. Media lain	9	24
Visualisasi bangunan				
1	Pertanyaan 1	a. Sangat bagus	2	15
		b. Bagus	10	77
		c. Kurang bagus	1	8
		d. Tidak bagus	0	0

No	Pertanyaan	Jawaban	Jumlah responden	Prosentase (%)
Visualisasi bangunan				
2	Pertanyaan 2	a. Sangat bagus	1	8
		b. Bagus	12	92
		c. Kurang bagus	0	0
		d. Tidak bagus	0	0
3	Pertanyaan 3	a. Sangat bagus	6	46
		b. Bagus	7	54
		c. Kurang bagus	0	0
		d. Tidak bagus	0	0
4	Pertanyaan 4	a. Sangat bagus	1	8
		b. Bagus	11	85
		c. Kurang bagus	1	8
		d. Tidak bagus	0	0
Kelengkapan informasi				
1	Pertanyaan 1	a. Sangat sesuai	2	15
		b. Sesuai	10	77
		c. Kurang sesuai	1	8
		d. Melenceng	0	0
2	Pertanyaan 2	a. Sangat membantu	2	15
		b. Membantu	9	69
		c. Kurang membantu	2	15
		d. Tidak membantu	0	0
3	Pertanyaan 3	a. Sangat membantu	3	23
		b. Membantu	9	69
		c. Kurang membantu	1	8
		d. Tidak membantu	0	0
Kemudahan penggunaan				
1	Pertanyaan 1	a. Mudah digunakan dan dipahami	4	31
		b. Mudah digunakan tetapi sulit dipahami	8	62
		c. Sulit digunakan tetapi mudah dipahami	1	8
		d. Sulit digunakan dan dipahami	0	0
2	Pertanyaan 2	a. Sangat bagus	3	23
		b. Bagus	9	69
		c. Kurang bagus	1	8
		d. Tidak bagus	0	0

Pertanyaan yang diajukan lebih sedikit dibandingkan pertanyaan survei pada lingkungan kampus. Hasil yang ingin diketahui adalah media yang digunakan untuk memperkenalkan suatu tempat bersejarah, visualisasi bangunan situs dalam bentuk tiga dimensi, kelengkapan informasi dan kemudahan penggunaan.

Bedarkan data survei yang ditunjukkan tabel 4.15 media televisi mendominasi media digunakan sebagai sumber informasi dan media untuk mengenalkan suatu tempat bersejarah. Media selanjutnya yang digunakan untuk mengenalkan suatu tempat dilakukan dengan cerita yang tergolong ke dalam media lain.

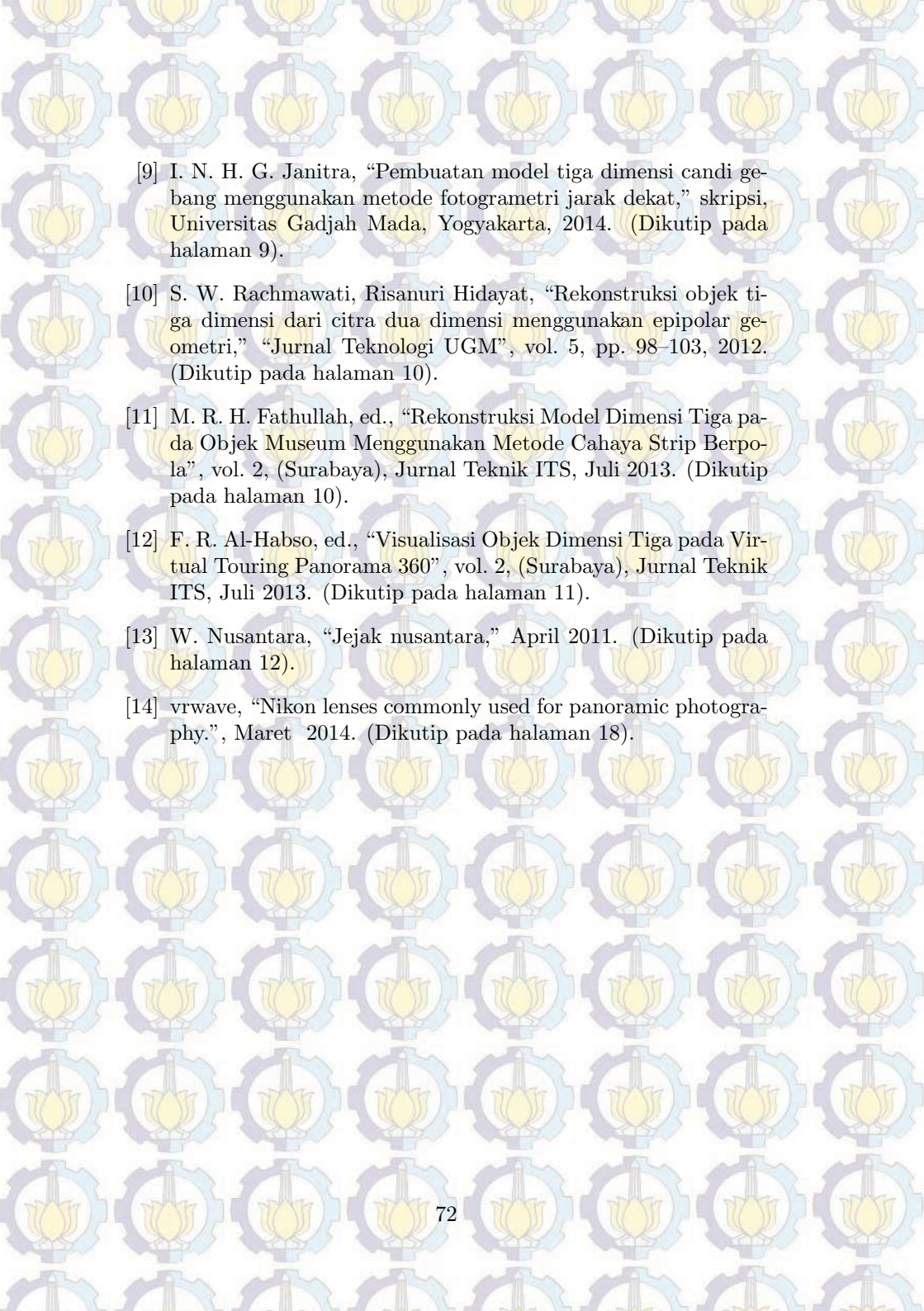
Visualisasi bangunan situs dalam bentuk tiga dimensi, kualitas visualisasi bangunan gapura Wringin Lawang sebesar 77%, menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat sangat bagus. Kualitas visualisasi bangunan candi Brahu sebesar 77%, menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan juga terlihat sangat bagus. Kualitas visualisasi bangunan gapura Bajangratu sebesar 87%, nilai ini menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat sangat bagus. Kualitas visualisasi bangunan candi Tikus sebesar 75% nilai ini menunjukkan bahwa hasil visualisasi bangunan terlihat sangat bagus.

Kualitas informasi yang disajikan dalam *virtual tour* situs Trowulan sebesar 77%. Menurut responden *virtual tour* ini sangat informatif.

Dari segi kemudahan responden mengatakan *virtual tour* situs Trowulan sangat mudah digunakan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tingkat kemudahan sebesar 80%.

Bibliografi

- [1] W. D. N. I Made Kusumajaya, Aris Soviyani, “Mengenal Kepurbakalaan Majapahit Di Daerah Trowulan”. Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, 2010. (Dikutip pada halaman 1, 12).
- [2] I. Kreatif, “Memandang dengan cara berbeda di fotografi panorama 360.” web, Oktober 2011. (Dikutip pada halaman 5, 7).
- [3] D. Kartikawati, ed., “Panorama 360 untuk Virtual Touring pada Museum Tugu Pahlawan Surabaya”, vol. 2, (Surabaya), Jurnal Teknik ITS, Juli 2013. (Dikutip pada halaman 6, 7, 11).
- [4] B. Widodo, “Makalah fotografi landscape.” web, Februari 2011. (Dikutip pada halaman 7).
- [5] F. S. Indra Lukmana Sardi, Fazmah Arif Yulianto, “Analisis dan implementasi fast corner detector pada image stitching dalam pembentukan citra aerial photogrammetry.” (Dikutip pada halaman 7).
- [6] P. R. Wolf., “Elements of photogrammetry”. McGraw-Hill, 2nd ed., 1983. (Dikutip pada halaman 8, 9).
- [7] S. Cooper, MAR; Robson, “Close Range Photogrammetry and Machine Vision.” 1996. (Dikutip pada halaman 8).
- [8] N. Upadhyay, “Basics of photogrammetry,” September 2013. (Dikutip pada halaman 9).

- 
- [9] I. N. H. G. Janitra, “Pembuatan model tiga dimensi candi ge-
bang menggunakan metode fotogrametri jarak dekat,” skripsi,
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014. (Dikutip pada
halaman 9).
- [10] S. W. Rachmawati, Risanuri Hidayat, “Rekonstruksi objek ti-
ga dimensi dari citra dua dimensi menggunakan epipolar ge-
ometri,” “Jurnal Teknologi UGM”, vol. 5, pp. 98–103, 2012.
(Dikutip pada halaman 10).
- [11] M. R. H. Fathullah, ed., “Rekonstruksi Model Dimensi Tiga pa-
da Objek Museum Menggunakan Metode Cahaya Strip Berpo-
la”, vol. 2, (Surabaya), Jurnal Teknik ITS, Juli 2013. (Dikutip
pada halaman 10).
- [12] F. R. Al-Habso, ed., “Visualisasi Objek Dimensi Tiga pada Vir-
tual Touring Panorama 360”, vol. 2, (Surabaya), Jurnal Teknik
ITS, Juli 2013. (Dikutip pada halaman 11).
- [13] W. Nusantara, “Jejak nusantara,” April 2011. (Dikutip pada
halaman 12).
- [14] vrwave, “Nikon lenses commonly used for panoramic photogra-
phy.”, Maret 2014. (Dikutip pada halaman 18).

Bab 5.

PENUTUP

Setelah dilakukan perancangan, implementasi, uji coba dan pengujian akhirnya dapat disimpulkan serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Kamera Nikon D3200 dengan jarak fokus lensa 18mm memerlukan minimal 32 foto untuk membuat panorama bola 360°. Penggunaan teknik panorama tanpa bantuan alat terdapat kesulitan dalam penentuan sudut pengambilan foto. Oleh sebab itu jumlah foto yang digunakan untuk pembuatan citra panorama memerlukan 40-48 foto pada setiap lokasi.

Ukuran citra panorama yang digunakan untuk membuat *virtual tour* berpengaruh pada kinerja sistem. Ukuran citra panorama berbanding lurus dengan penggunaan memori dan berbanding terbalik dengan kualitas citra panorama, semakin kecil ukuran citra panorama semakin sedikit memori yang digunakan saat *virtual tour* dijalankan tetapi kualitas citra menjadi menurun.

Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam visualisasi objek tiga dimensi bangunan situs adalah jumlah *vertex*, dan *texture mapping*. Jumlah *vertex* mempengaruhi kinerja sistem saat objek tiga dimensi ditampilkan pada *virtual tour*. Jumlah *vertex*

pada objek tiga dimensi yang diimplementasikan pada *virtual tour* berbanding lurus dengan penggunaan memori dan berbanding terbalik dengan kerja dari CPU. Semakin sedikit jumlah *vertex* pada objek tiga dimensi semakin sedikit pula memori yang digunakan tetapi kerja dari CPU semakin meningkat saat objek tiga dimensi digerakkan. Pada *texture mapping* harus memperhatikan pemetaan tekstur dengan *mesh* hasil proyeksi objek 3D karena membutuhkan ketelitian dan memiliki tingkat kecerahan yang sama pada setiap sisinya.





5.2 Saran







Pengambilan foto untuk citra panorama dengan teknik panorama tanpa bantuan alat, lebih baik menggunakan jenis lensa dengan sudut area pengambilan yang luas atau disebut lensa *fish eye*. Dari lensa tersebut diperoleh foto dengan sudut pandang yang luas sehingga jumlah foto yang diambil pada satu lokasi tidak terlalu banyak dan mengurangi error yang muncul saat dilakukan *stitching*. Penggunaan filter sangat disarankan agar diperoleh hasil yang bagus. Pengambilan foto untuk pembuatan 3D suatu bangunan sebaiknya pada saat cuaca cerah dan waktu pengambilan saat cuaca berawan tetapi sinar matahari cukup terang agar bayangan yang terbentuk tidak terlalu kuat.

Kualitas hasil visualisasi objek 3D pada *virtual tour* sangat dipengaruhi dari tekstur yang dipasang, oleh sebab itu pemilihan tekstur yang memiliki tingkat kecerahan yang sama sangat disarankan.

LAMPIRAN

Tabel 6.1: Citra panorama beserta jumlah foto penyusun

No	Nama panorama	Citra panorama	Jumlah foto penyusun
1.	Gapura Wringin Lawang		48
2.	Taman Gapura Wringin Lawang		44
3.	Pintu masuk Candi Gentong		40
4.	Candi Gentong I		41

No	Nama panorama	Citra panorama	Jumlah foto penyusun
5.	Candi Gentong II		41
6.	Pintu masuk Candi Brahu		46
7.	Candi Brahu		41
8.	Pintu masuk Gapura Bajangratu		40
9.	Gapura Bajangratu		40
10.	Pintu Masuk Candi Tikus		44

No	Nama panorama	Citra panorama	Jumlah foto penyusun
11.	Candi Tikus		45